

Treball de Fi de Grau

Enginyeria en Tecnologies Industrials

FUZZ. Construcció d'un pedal de guitarra

MEMÒRIA

Autor: Jordi Deumal Torroella

Director: Rafael Martin Lamaison Urioste

Convocatòria: Setembre 2016



Escola Tècnica Superior

d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Agraïments

Moltes gràcies Rafa per ajudar-me, orientar-me i polir-me.

Gràcies a Altrinox per la seva generositat i deixar-me gaudir de les seves instal·lacions.

Gràcies a l'Adrià per tenir la mateixa il·lusió que jo a fer nous projectes.

Gràcies Pau per participar de manera altruista i ajudar-me a millorar.

Gràcies a la Judit per entendre'm i ajudar-me sempre.

A la meva família.

Resum

Aquest projecte neix de la meva passió per la música i l'electrònica. L'objectiu del projecte és la construcció des de zero d'un pedal de guitarra (Fuzz). Entendre el perquè dels diferents components (transistors, resistències, condensadors, potenciòmetres, etc) i les seves funcions. Simular el circuit amb l'Orcad i comprovar el seu funcionament a una placa de proves (*protoboard*) en el laboratori. Una vegada tot estudiat, la idea és construir el pedal amb els recursos que dispo, des de la part mecànica fins el disseny.

S'estudiarà el funcionament electrònic: es dividirà el circuit en diferents parts per a entendre-ho més bé, es veurà la modificació de l'ona provinent de la guitarra, el funcionament dels diferents components, etc.

El Fuzz original és format per transistors de germani (components antics difícils de trobar avui dia). El guany d'aquests transistors té un paper important a la qualitat del so del nostre pedal. Conseqüentment, es provaran transistors de germani que s'han utilitzat al llarg de la història, intentant concloure quin és el millor per al nostre pedal. Però no tot és tan fàcil com sembla, els transistors de germani es podrien substituir per transistors de silici. Quin és el més adequat?

Pel que fa a la construcció s'apostarà per un acabat modern i professional amb acer inoxidable. Es farà una caixa a mida, es construirà i es soldarà la placa a la qual se li afegirà una derivació (*bypass*) i un interruptor 3PDT. Per altra banda, decorarem el Fuzz i li donarem més vida amb un disseny personalitzat, adhesius, un díode emissor de llum (*led*), codis QR que enllacen amb la pàgina de *facebook* de J.D Pedals i un logotip.

Finalment, es desglossaran tots els costos i es compararan amb els d'una empresa que el manufacturi. Es fan d'or les empreses del sector? Es pot competir amb elles? O són preus apropiats per uns components que són imprescindibles si vols destacar en el món de la música? Acabarem amb un estudi mediambiental del seu impacte i reciclatge i una crítica musical d'un mestre de la guitarra...

Endinseu-vos-hi!

ÍNDEX

| | |
|--|-----------|
| AGRAÏMENTS | 1 |
| RESUM | 2 |
| ÍNDEX | 3 |
| 1. GLOSSARI | 7 |
| 2. PREFACI | 9 |
| 2.1. Origen del projecte | 9 |
| 2.2. Motivació..... | 9 |
| 2.3. Requeriments previs | 9 |
| 3. INTRODUCCIÓ | 10 |
| 3.1. Objectius del projecte | 10 |
| 3.2. Abast del projecte | 10 |
| 4. PEDAL D'EFECTES | 11 |
| 4.1. Principal tipus d'efectes..... | 11 |
| 4.2. Saturació..... | 12 |
| 5. EL FUZZ | 14 |
| 5.1. Historia..... | 14 |
| 5.2. Retallada de l'ona (<i>Clipping</i>) | 16 |
| 5.3. Modificacions a l'ona | 18 |
| 5.4. Sèrie harmònica | 18 |
| 6. FUNCIONAMENT | 20 |
| 6.1. Sistema <i>Input</i> | 20 |
| 6.1.1. Impedància d'entrada | 21 |
| 6.1.2. Guany de sistema <i>Input</i> | 22 |
| 6.2. Sistema <i>Output</i> | 23 |
| 6.2.1. Filtre passa alts de sortida | 24 |
| 6.2.2. Guany Total i del sistema <i>Output</i> | 24 |
| 6.2.3. Condensador C_2 | 25 |
| 6.3. Sistema retroalimentació | 26 |
| 6.4. Commutació elèctrica dels circuits | 28 |
| 6.5. 3PDT. Interruptor de peu..... | 29 |
| 7. COMPARACIÓ SILICI VS. GERMANI | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 8. ESTUDI AMB ORCAD | 32 |
| 8.1. Disseny de l'esquema | 32 |
| 8.2. Simulacions | 34 |
| 8.2.1. Voltatge nodes | 34 |
| 8.2.2. Amplitud de la senyal d'entrada..... | 35 |
| 8.2.3. Influència dels guanys dels transistors (β)..... | 36 |
| 9. ESTUDI DELS TRANSISTORS | 41 |
| 10. SIMULACIÓ A UNA PLACA DE PROVES (PROTOBOARD) | 45 |
| 11. CONSTRUCCIÓ | 47 |
| 11.1. Llista de components | 47 |
| 11.2. Mecanització de la caixa | 49 |
| 11.3. La placa | 53 |
| 11.4. Cablejat de fora la placa (<i>offboard</i>)..... | 55 |
| 12. DISSENY | 58 |
| 12.1. Disseny cara frontal..... | 58 |
| 12.2. Logotip i cara posterior | 59 |
| 13. PRESSUPOST | 60 |
| 13.1. Estimació econòmica del projecte..... | 60 |
| 13.1.1. Documentació del projecte..... | 60 |
| 13.1.2. Desenvolupament del projecte | 61 |
| 13.1.3. Construcció..... | 61 |
| 13.1.4. Disseny exterior | 61 |
| 13.1.5. Cost dels components..... | 62 |
| 13.1.6. Cost de la caixa..... | 62 |
| 14. PLANIFICACIÓ TEMPORAL | 65 |
| 15. IMPACTE MEDIAMBIENTAL | 66 |
| 16. MANUAL D'INSTRUCCIONS | 67 |
| 17. LA MÚSICA DEL FUZZ | 68 |
| CONCLUSIONS | 71 |
| BIBLIOGRAFIA | 73 |
| Referències bibliogràfiques..... | 73 |
| Bibliografia complementària..... | 74 |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| ANNEX 1. PLÀNOLS | 75 |
| ANNEX 2. FOTOS FUZZ | 76 |
| ANNEX 3. <i>DATASHEET</i>. | 78 |

1. Glossari

A continuació podreu trobar una petita definició de signes, símbols, abreviatures, acrònims o termes que sortiran al llarg del treball:

- **PSPICE** – Un programa de SPICE per simulacions electròniques.
- **SPICE** – Simulated Program with Integrated Circuit Emphasis; utilitzat per simular circuits.
- **Mono** – So Monoaural, o un sol canal d'àudio.
- **Estèreo (Stereo)** – Dos canals d'àudio, normalment dividit amb esquerra i dreta.
- **FFT** – Fast Fourier Transform, utilitzat per determinar el contingut freqüencial d'una senyal de guitarra.
- **BJT** – Bipolar Junction Transistor.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

RASKA i **electrònica**. Aquests dos conceptes són l'inici d'aquest projecte. RASKA (www.raska.cat) és un grup musical del qual sóc cofundador des de l'octubre del 2011, la seva trajectòria es caracteritza per un camí d'evolució constant, combinant festa i revolució.

D'altra banda, l'últim any de carrera vaig realitzar una assignatura que em va motivar molt i vaig trobar molt interessant: l'electrònica. En les classes de muntatge l'hi vaig perdre la por en aquells circuits electrònics que semblaven impossibles de construir.

Per què el Fuzz? Sent conscient de la diversitat d'efectes que existeixen actualment, triar-ne un era difícil. Després de la pluja d'idees, aquest efecte va sortir guanyador per diferents raons. Primer perquè era un tipus de pedal que no tenia i aportaria molt en el so de RASKA, la presència dels seus greus em donaria més protagonisme a l'escenari. Per altra banda, tot i que a primera vista no vaig reconèixer alguns dels components del circuit, el circuit semblava factible de realitzar si li dedicava treball, paciència i esforç.

2.2. Motivació

Després de més de quatre anys creixent, gaudint i fent gaudir el públic, l'estiu del 2015, Raska es planteja un nou repte introduint canvis importants en la composició del grup i preparant amb molta il·lusió l'últim CD: **Reneix de les cendres**. Aquesta dedicació en el món de la música combinada amb un gran interès en l'electrònica em van fer replantejar moltes coses. Fins que un dia em vaig adonar que gaudir dels pedals que s'havia fet un mateix podria ser quelcom extraordinari. La curiositat de saber com funcionen els dispositius electrònics que utilitzo setmanalment, aprendre més sobre aquest món i aconseguir fer amb les meves pròpies mans un pedal de guitarra, em sembla fascinant, interessant i molt motivant.

2.3. Requeriments previs

Coneixements bàsics d'electrònica com ara conèixer els components que poden formar part d'un circuit electrònic (transistors, potenciòmetres, resistències, condensadors, etc). Haver tingut contacte previ amb el món del muntatge i de la soldadura. Haver utilitzat algun software de simulació com ara Orcad. Coneixements musicals, per a poder avaluar correctament el resultat.

3. Introducció

Aquest treball parla de la construcció i estudi d'un pedal de guitarra, concretament de l'efecte Fuzz. Aquest efecte produeix la saturació del so, provocant una distorsió de la senyal clarament audible.

3.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal del projecte és la **construcció des de zero** d'un Fuzz, així com poder entendre cada una de les parts que componen aquest. Hi ha parts que es podrien comprar prefabricades i ens estalviaríem una bona feina, però ens passarien per alt conceptes que influeixen en el resultat final. S'intentarà professionalitzar el resultat, la idea és que en un futur tingui la possibilitat de poder vendre aquest o altres pedals a músics professionals, satisfent necessitats diferents a les que ofereix el mercat actual. **Un so únic, models antics ja obsolets i dissenys personalitzats** són algunes de les alternatives que es volen assolir i poder oferir als clients.

3.2. Abast del projecte

El seu abast intentarà combinar el màxim d'aspectes estudiats durant el grau que he cursat: Enginyeria en Tecnologies Industrials. S'estudiarà l'electrònica del seu funcionament, ens endinsarem en la construcció d'una placa i el cablejat que uneix els diferents components. A més a més, no deixarem de banda la construcció de la caixa d'acer inoxidable, ni el disseny exterior, que el fa atractiu i satisfà aquells que són més detallistes. Finalment provarem el pedal amb músics de renom que donaran la seva opinió sobre el projecte.

4. Pedal d'efectes

Abans de tot cal situar-nos una mica amb les preguntes més obvies que es pot plantejar hom no familiaritzat amb el món de la música.

Què és un **efecte** de guitarra?

Els **efectes per guitarra** són alteracions digitals, analògiques o acústiques en el so. Habitualment s'utilitzen en guitarres elèctriques, tot i que cada vegada més s'està innovant en el món de les guitarres electroacústiques. Els efectes per guitarra poden ser produïts principalment per causes físiques, com ara la reverberació (reflexió del so); o bé per processadors destinats a complir una funció específica, com ara els **pedals d'efectes**.

Què és un **pedal d'efectes** per guitarra?

Un **pedal d'efectes** és un dispositiu electrònic utilitzat para alterar el so d'una font. S'utilitza majoritàriament en l'àmbit musical, tant en gravacions com en directe. Els pedals de guitarra han donat un so especial i diferent, han caracteritzat la música des de la dècada dels 50 fins la contemporània. S'anomenen pedals perquè estan situats en el terra i tenen botons que l'activen accionant el peu, deixant lliure les mans per a poder tocar.

4.1. Principal tipus d'efectes

Hi ha centenars d'efectes diferents per la guitarra, s'esmenten els principals:

- **Saturació**

Aquest tipus d'efecte es caracteritza per modificar el nivell de saturació o guany del so. Segons les característiques del circuit, s'aconsegueixen alterar diferents harmònics o camuflar la nota fonamental.

- **Modulació**

Alteracions del so basades en modificar la seva amplitud, freqüència i fase d'una senyal. S'obtenen uns sons molt característics dels 60. Exemple d'efectes són *el Chorus*, *tremolo* o *el flange*.

- **Filtració y Dinàmica**

Tal com el nom indica, consisteix en equalitzar una part de la senyal, triant la quantitat de freqüències altes i baixes que tindrà el so final. El més conegut en el món de la guitarra és el *Wha wha*.

- **Repetició**

Es basa en la repetició d'un so concret modificant les seves característiques, dos bons exemples són:

- **Reverberació (*reverb*):** efecte producte de la reflexió del so. Quan el so xoca contra un material i no és capaç de travessar-lo, part de les vibracions són absorbides, mentre que les restants retornen en sentit contrari.
- **Delay:** consisteix en la multiplicació de la senyal i es reproduïx amb un retràs variable una o més vegades.

4.2. Saturació

El Fuzz està inclòs dins de l'efecte de saturació. **Saturació** és el terme utilitzat en el camp de la música per designar una distorsió de la senyal clarament audible. Aquesta distorsió té un camp molt ampli i va des d'una distorsió suau, fins a un so dens, borrós on la seva tonalitat queda totalment amagada i és difícil de distingir.

La saturació afecta el nivell de guany del so. Depenen de les característiques s'aconsegueix l'alteració dels harmònics, fent ombra a la nota fonamental en diferents vies.

A continuació es mostren les diferents formes de saturació:

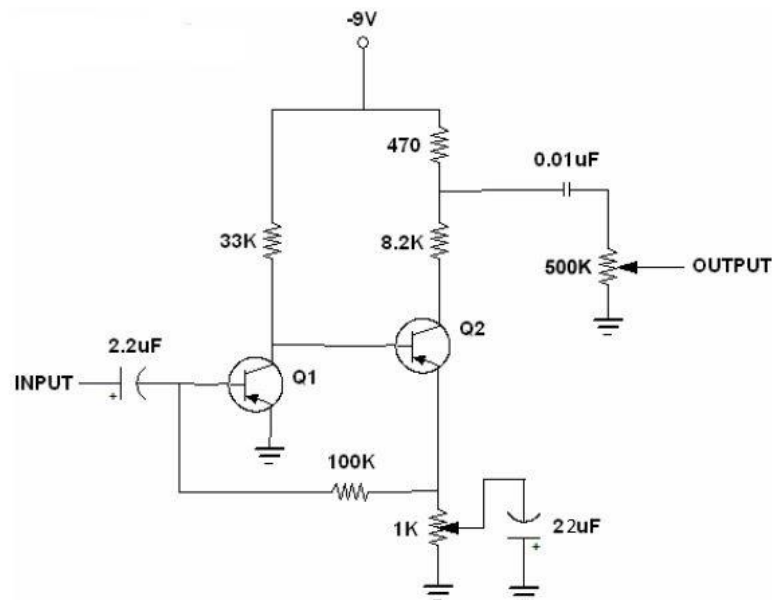
- **Overdrive:** Afecta el segon harmònic moderadament, generant pics irregulars a la senyal. Es caracteritza per tons baixos i mitjos. És un so més aviat brut, però es pot distingir la nota fonamental i la saturació tampoc és excessiva.
- **Distorsió:** Es recalquen el segon i el tercer harmònic. La senyal es satura molt, fent que sigui indistingible la nota fonamental i es creï una ona totalment irregular. Es destaquen els tons mitjos i alts. A més distorsió més presència de baixos. Tot i ser un so brut, és agradable d'escoltar.
- **Fuzz:** Es realça el segon harmònic de forma exagerada, i els pics de la senyal es generen en major quantitat que en un *overdrive*. Els tons es centren en els baixos

i mitjos. Es pot resumir com un so dens. Molt utilitzat en el rock estatunidencs del segle XXI. Grups que es distingeixen per haver utilitzat el Fuzz poden ser **The Beatles** per exemple a *Think For Yourself* , **Rolling Stones** a la seva famosa cançó *I can't get no (Satisfaction)*, **The Kinks** "*You really got me*" , entre d'altres.

5. El Fuzz

5.1. Historia

El llarg de la història famosos creadors de pedals i reconegudes marques han anat creant nous pedals basant-se amb el model original del FUZZ. Tot i que estudiarem les modificacions més virals, s'ha decidit implementar el model bàsic, ja que és el més comú i del que es disposa de més informació. L'esquema és el següent:



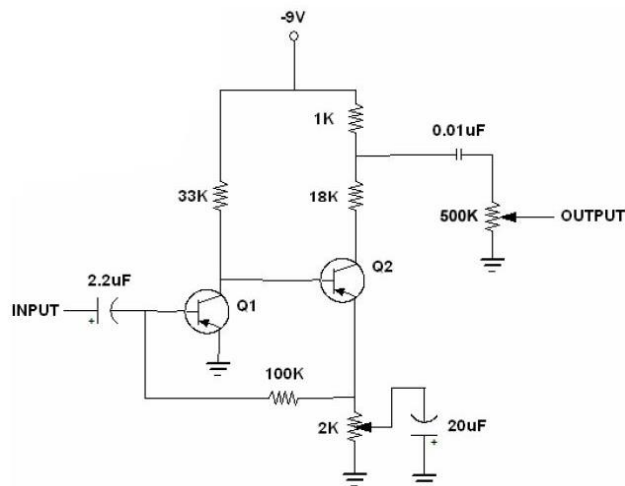
Esquema 1: Esquema original del FUZZ

Modificació “Hendrix/Mayer”

Roger Mayer és un creador de pedals que va començar creant efectes en el 1964. Va treballar amb Jimi Hendrix en el 1967, va ser ell qui li va crear el Fuzz. El canvis de Mayer són també coneguts com “Hendrix Mods” o “Roger Mayer Mods”. Van ser els següents:

- Canviar la resistència de 470Ω per 1kΩ
- Canviar la resistència de 8.2kΩ del col·lector de Q₂ per una de 18kΩ
- Canviar el potenciòmetre FUZZ (situat a l'emissor del Q₁), 1KΩ per un de 2KΩ.

Aquests canvis incrementaven la resistència del segon transistor i un guany general més gran.



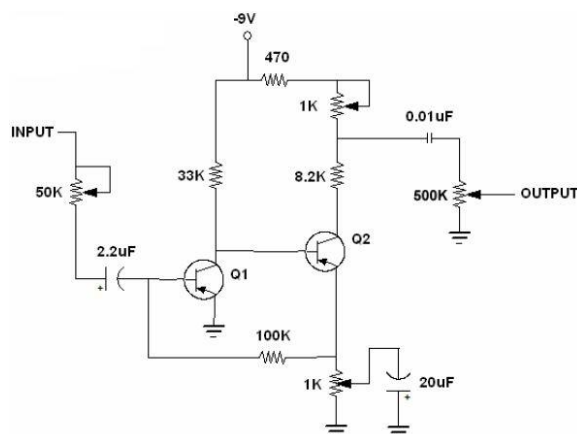
Esquema 2: Fuzz amb les modificacions de Hendrix o Mayer

Modificació Fuller

Mike Fuller, un reconegut creador d'efectes de guitarra i propietari de Fulltone Custom Effects, també va enginyar una modificació en el fuzz. Els seus canvis van ser:

- Afegir un potenciòmetre en sèrie amb la resistència de 470 Ω
- Afegir un potenciòmetre 50 k Ω en sèrie amb l'input abans del condensador

El potenciòmetre de 1k Ω actua com una resistència variable. Això té un efecte similar a la modificació de Hendrix, incrementant el guany general i el guany de Q2. El potenciòmetre de 50k Ω fa que els pics de senyal siguin més suaus, essencialment aconseguint menys quantitat de distorsió.



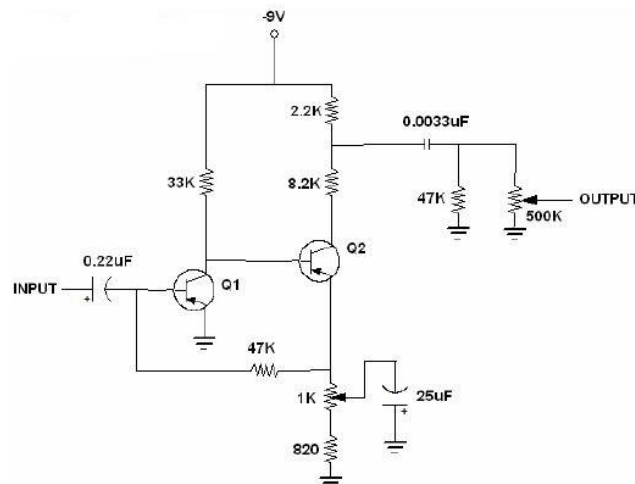
Esquema 3: Fuzz amb les modificacions de Fuller

Modificació Vox Tone Bender

Vox Amplification és una marca líder que manufactura pedals d'efectes, la seva versió del Fuzz proposa uns canvis més avançats, però que segueixen l'essència del FUZZ, aquests són:

- Utilitzar transistors NPN de silici, en compte de transistors de germani PNP
- Reduir els valors dels condensadors
- Afegir una resistència en sèrie a l'emissor amb el potenciòmetre Fuzz.
- Afegir una resistència en paral·lel amb el potenciòmetre de volum.

L'esquema complet de *Vox Tone Bender* es mostra a continuació:



Esquema 4: Fuzz amb les modificacions de Bender

5.2. Retallada de l'ona (*Clipping*)

El concepte *clipping* ("retallada" en català) serà important per referir-nos a les modificacions que pateix l'ona sinusoïdal provinent de la guitarra quan passa pel pedal. Aquest anglicisme és àmpliament utilitzat en temes de so. Quan parlem de *clipping* ens referim en el tall que pateix la senyal de so quan supera els llindars que és capaç de suportar.

La senyal sinusoïdal (*Figura 1*), té el seu llindar de guany a les línies discontinues vermelles i la línia continua negra és l'eix horitzontal. Utilitzant el pedal podem portar aquesta senyal a uns nivells més enllà dels que pot suportar, per tant es produeix aquest efecte de retall de la ona, aquesta ona deixa de ser un sinus i tendeix a un tren de polsos. D'aquesta manera es percep un soroll distorsionat que divergeix del so net d'una guitarra sense

modificacions de la senyal.

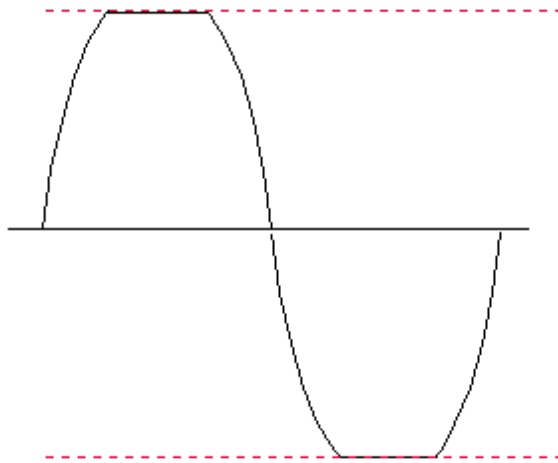


Figura 1: Ona sinusoidal retallada

A la *Figura 1*, el tall a l'ona sinusoidal es pot considerar “net”, paral·lel a l'eix horitzontal. De fet aquest paràmetre influeix en el so, la distorsió serà tan aspra com més tros d'ona sinusoidal sigui retallada i com més recte sigui el tall.

A la ona de la *Figura 2*, la seva transició a la part horitzontal no és tan quadrada, és més suau. En aquest cas segueix apareixen distorsió, però és molt més càlida, no tan aspra.

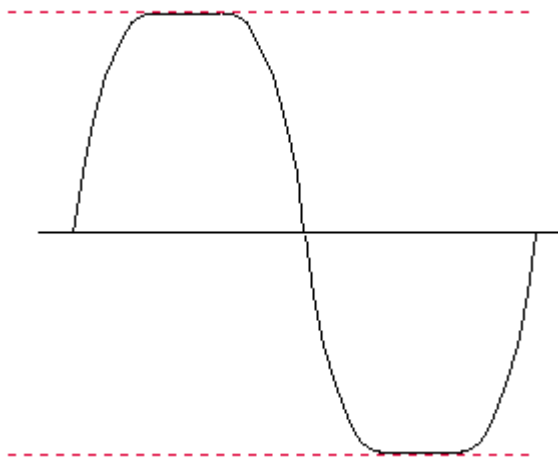


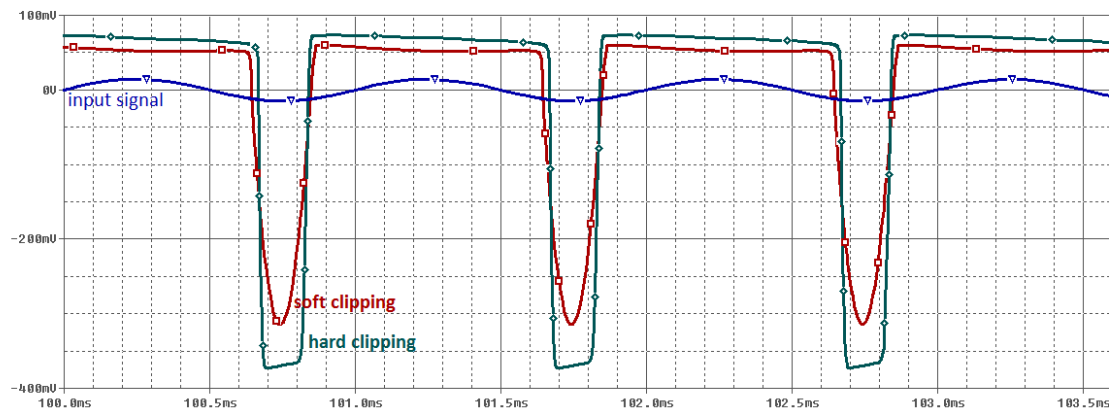
Figura 2: Ona sinusoidal retallada suaument

Per tant, es parla de dos tipus de *clipping*: retallada durament (hard clipping - *Figura 1*) o retallada suau (soft clipping - *Figura 2*)

5.3. Modificacions a l'ona

El circuit provoca una ona asimètrica. El voltatge en el col·lector hauria de situar-se al voltant de $V_{CC}/2$, uns $-4,5V$. Però en el Fuzz, com es veurà més endavant a les simulacions, aquest voltatge és mou entorn dels $-1.6V$, es creu que aquest és un dels factors de la forma asimètrica resultant.

El potenciòmetre de $1k\Omega$ (Fuzz) és el principal modificador de la forma d'ona, el que dóna un color diferent, una distorsió més agressiva o menys, d'ell depèn part important del so. Com més s'augmenta el potenciòmetre FUZZ, més tendeix l'ona al *hard clipping* en el semi-cicle negatiu de l'ona sinusoidal.



Gràfic 1: Comparació de la forma d'ona del soft clipping respecte el hard clipping

El Gràfic 1 compara les diferents formes d'ones partint de la mateixa senyal sinusoidal que prové de la guitarra (ona blava). L'ona de color vermell és la senyal modificada quan el potenciòmetre Fuzz pren valors baixos (*soft clipping*). L'ona de color verd és la senyal modificada quan el potenciòmetre Fuzz pren valors alts (*hard clipping*).

5.4. Sèrie harmònica

És difícil imaginar-se com serà el so observant només la forma d'ona en el temps, per això una bona solució és utilitzar la Transformada de Fourier, amb aquesta es pot observar la sèrie harmònica de cada configuració.

La sèrie harmònica és una successió de sons, les freqüències dels quals són múltiples enters positius de la nota base o fonamental. L'origen de la sèrie harmònica està en la vibració dels

cossos vibrants, per exemple quan s'altera l'estat d'equilibri d'una corda i es fa vibrar. La forma natural de vibració és complexa, es descompon en una sèrie de moviments combinats, o **modes de vibració**. Cada mode de vibració produeix un so diferent a la sèrie. Si s'analitza el so que emet la corda, apareixerà una combinació de sons, significa per tant que el cos està vibrant segons una combinació de moviments.

Per estudiar la sèrie harmònica s'enumera cada so amb un índex, començant pel número 1 (la nota fonamental). Aquesta és una important propietat de la sèrie, el fet que les proporcions entre els índex respectius de dos sons qualsevols, és també la proporció entre les freqüències vibratòries dels sons. Per exemple si l'interval entre els harmònics 3 i 2 és una quinta, la proporció 3:2 representa també a totes les quintes justes.



Figura 3: Sèrie dels 16 primers harmònics de do. Font [2].

El **primer** so de la sèrie, o so fonamental, d'una freqüència determinada podria ser per exemple un do. La resta de sons s'uneixen en aquest sense alterar la seva altura aparent, ja que la oïda fon o integra tots els harmònics en una sola sensació.

El **segon** so de la sèrie té una freqüència el doble del primer. La seva altura és una octava per sobre d'aquest.

El **tercer** so té una freqüència triple de la del primer, està en una proporció de 3 a 2 amb la del segon; la seva altura és una quinta justa per sobre el segon i un dotze octava (interval compost per una octava més una quinta) per sobre el primer.

El **quart** so té una freqüència doble del segon, la seva altura serà una octava per sobre aquest; per tant dos octaves per sobre la fonamental. Cada cop que el número d'índex d'un harmònic es doble, la seva altura està una octava per sobre.

Aquests són els principals sons que es veuran a les nostres Transformades de Fourier.

6. Funcionament

Per a estudiar el seu funcionament es dividirà el circuit en tres parts: Sistema *Input*, Sistema *Output* i Sistema Retroalimentació (*Feedback Network*). Aquest últim bloc afecta la resta de l'anàlisi degut a la seva influència a paràmetres importants com ara l'augment de voltatge (guany), impedància d'entrada i de sortida i la freqüència de la resposta.

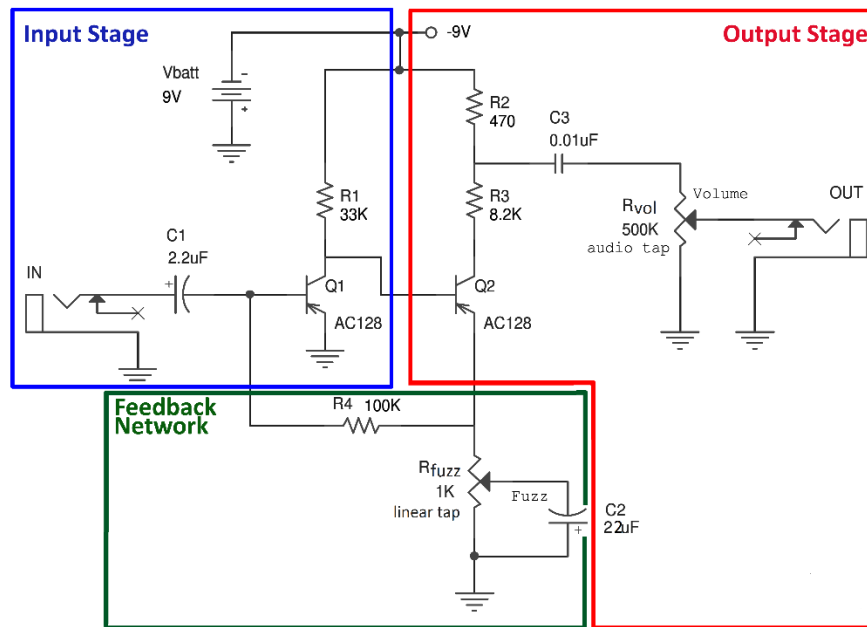


Figura 4: Divisió del circuit per facilitar l'estudi posterior

6.1. Sistema Input

El Sistema *input* és un amplificador PNP (emissor comú) que aporta un elevat guany en el voltatge (*gain*) amb una impedància d'entrada petita i una impedància de sortida gran. És una manera simple i ràpida d'obtenir guany en el voltatge ja que el sistema és format per pocs components.

En primer lloc un condensador electrolític. Aquest tipus de condensadors utilitzen líquid iònic conductor a les seves plaques. És utilitzat ja que té més capacitat per unitat de volum comparat amb els condensadors normals. El fet de tenir molta capacítància permet la construcció de filtres de baixa freqüència. Tenen polaritat, el terminal negatiu normalment està marcat, sovint és més curt el terminal negatiu que el positiu. El condensador desacobla i bloca qualsevol nivell de continua, eliminant qualsevol brunzit (*hum*) i protegint la guitarra de perillosos nivells de continua.

La resistència de 33K és per limitar paràmetres com la màxima corrent del col·lector, o la

caiguda de voltatge.

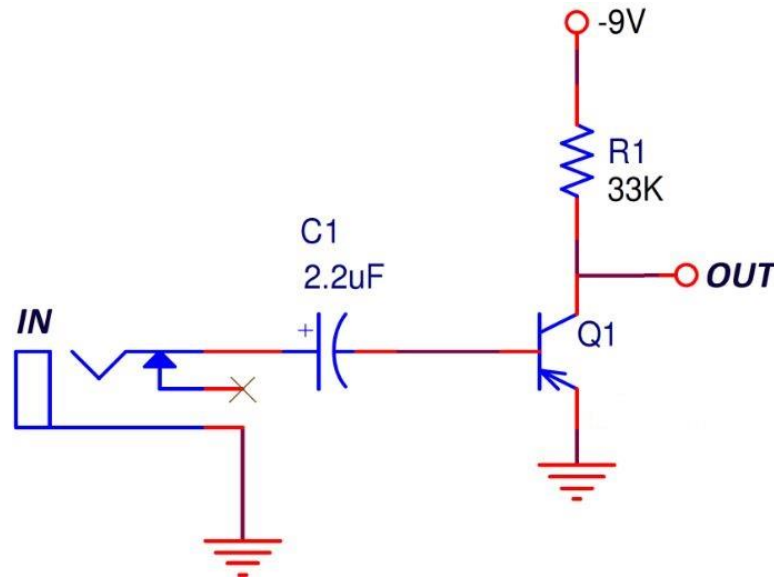


Figura 5: Sistema Input

Els nivells dels guanys del transistor Q1 i Q2 seran estudiats més endavant, però el rang aconsellat pels fabricants és de $\beta_{Q1} = 70 - 80$ i $\beta_{Q2} = 110 - 130$. De moment s'utilitzaran els valors: $\beta_{Q1} = 70$; $\beta_{Q2} = 120$.

6.1.1. Impedància d'entrada

La impedància d'entrada es necessitarà posteriorment. Si no tinguéssim en compte la retroalimentació, la impedància d'entrada no seria difícil de calcular. El corrent que passa pel col·lector és:

$$I_e = \frac{9V - 1.6V}{33K} = 0.22mA$$

El voltatge de 1,6V s'obté de la *Simulació 1* feta amb Orcad. La transductància (g_m) es pot calcular com la fracció entre I_e i V_t (voltatge tèrmic; en una habitació a temperatura ambient és de 25mV).

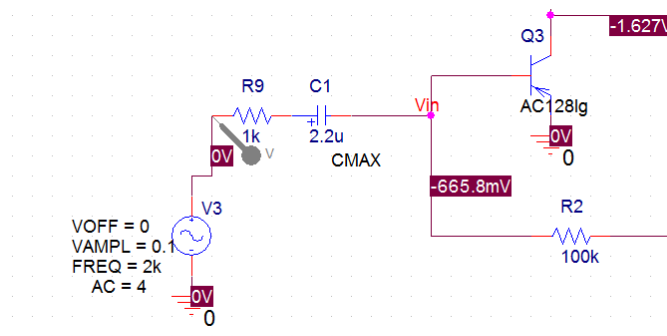
$$g_m = \frac{I_e}{V_T} = \frac{0.22mA}{25mV} = 0.0088$$

Així que la impedància d'entrada sense tenir en compte la retroalimentació s'aproxima a 8K:

$$r_{\pi} = \frac{(\beta + 1) \cdot V_t}{I_{EQ}} = \frac{(\beta + 1)}{gm} = \frac{(70 + 1)}{0.0088} = 8K$$

No obstant el *feedback* influeix en aquest valor. Degut a la no trivialitat matemàtica, s'ha simulat amb l'Orcad el valor de la impedància d'entrada tenint en compte la retroalimentació, s'obtenen valors al voltant de 5K, aquests varien segons la posició del potenciòmetre Fuzz. La retroalimentació té un impacte negatiu sobre la impedància.

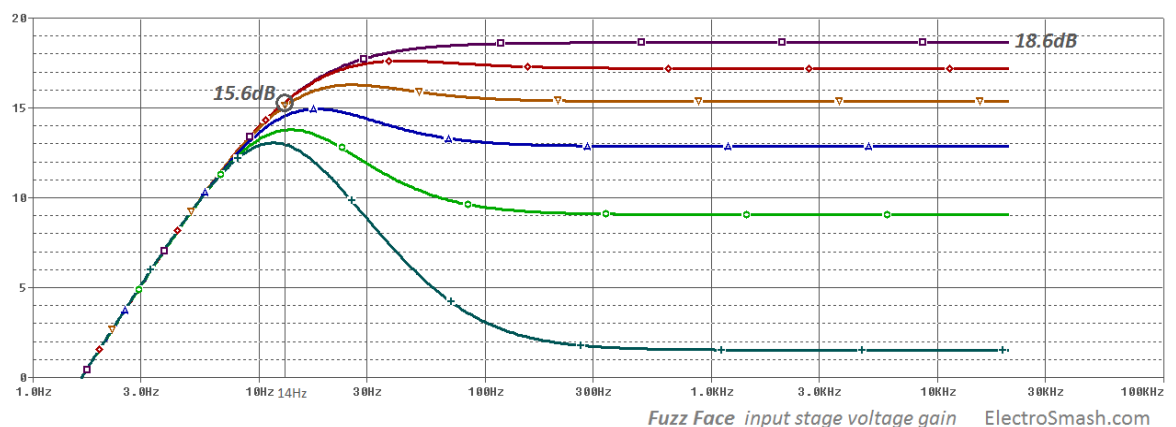
La simulació amb l'Orcad s'ha realitzat afegint una font de corrent alterna i una resistència (R9). Es realitza un anàlisi d'alterna i s'afegeix un *addtrace* i així s'obté el valor impedància d'entrada $Z_{in} = V_{in} / I_{R9}$.



Simulació 1: Per a calcular la impedància d'entrada

6.1.2. Guany de sistema *Input*

El transistor actua com amplificador, treballa a la zona lineal. Aquest dona més o menys guany segons la posició del potenciòmetre Fuzz. A continuació el Gràfic 2 mostra com varia el voltatge del sistema *input* variant el FUZZ (verd fosc, potenciòmetre al mínim; lila, potenciòmetre al màxim).



Gràfic 2: Guany dels voltatges en el sistema *input*

El *Gràfic 2* ens mostra com el condensador actua com a **filtra passa-alts** amb una freqüència de tall de 14Hz. És un filtre RC del qual es pot extreure la freqüència de tall a partir de la següent expressió:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot Z_{in} \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 5K \cdot 2.2\mu F} = 14Hz$$

Totes les freqüències per sota dels 14Hz pateixen un atenuació. S'observa que quan el potenciòmetre Fuzz està al mínim hi ha un petit *zumzeig* (*hump*), la línia verd fosc segueix tenint un guany considerable. Aquest fet és degut el *bypass* del C_2 , aquest efecte es nota més quan el guany del pedal és més petit ja que prové molt més senyal de la retroalimentació. Més endavant s'explicarà la relació entre la retroalimentació i el guany.

6.2. Sistema Output

El sistema output està format pel segon transistor PNP (Q_2), però aquesta vegada amb una resistència variable en l'emissor (R_{fuzz}), un divisor de tensions format per R_2 i R_3 , un condensador i un potenciòmetre logarítmic que ajustarà el volum del pedal.

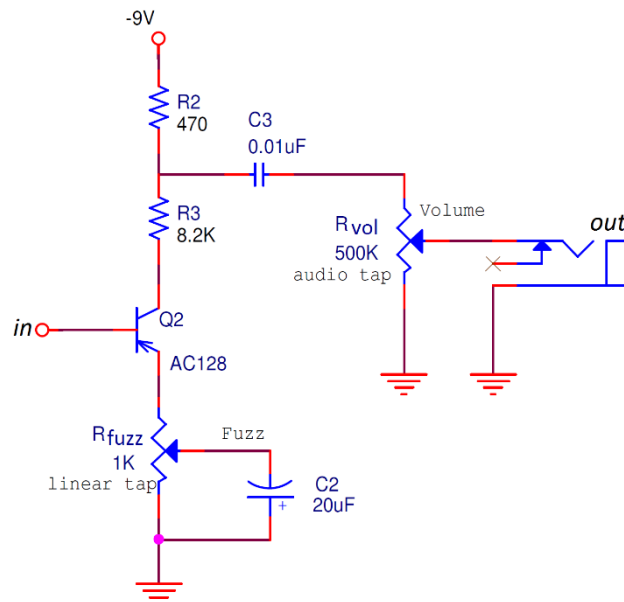


Figura 6: Sistema output

6.2.1. Filtre passa alts de sortida

El condensador C_3 actua com un **filtre passa-alts**, la freqüència de tall es pot calcular a partir del potenciòmetre de volum i el condensador C_3 . Aquest filtre determinarà la freqüència més baixa que sortirà del pedal.

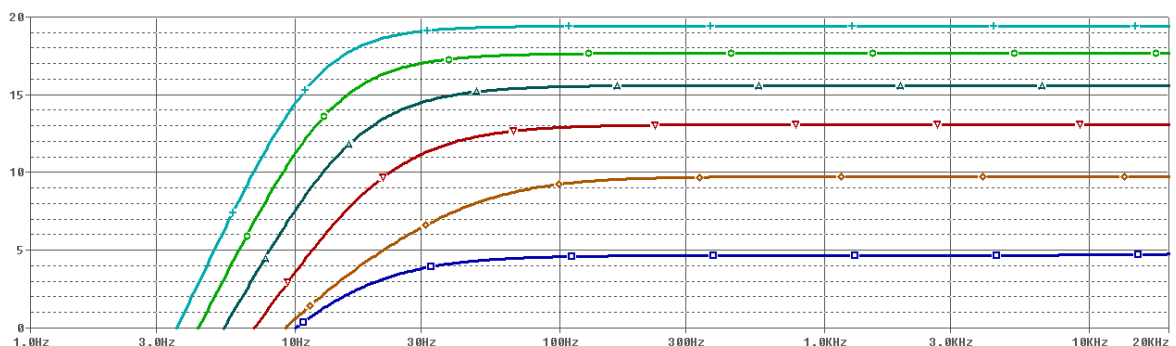
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{vol} \cdot C_3} = \frac{1}{2\pi \cdot 500K \cdot 0.01\mu F} = 31Hz$$

La freqüència mínima serà quan el potenciòmetre estigui al màxim i equival a 31Hz. Aquesta freqüència es fa més gran a mesura que disminueix R_{vol} . Això significa que a volums baixos, la quantitat de freqüències baixes seran lleugerament més petites. Fent el C_3 més gran permetríem la presència de més harmònics.

6.2.2. Guany Total i del sistema Output

El potenciòmetre Fuzz fa el segon transistor més estable i immune a variacions del guany causades per la temperatura, les propietats intrínseques entre transistors, etc.

Considerant la retroalimentació de 100k i el sistema *Input*, el guany en dB mesurat al col·lector de Q_2 és aproximadament de 19.5 dB. Recordem que el sistema *input* tenia un guany de 18.6dB, això significa que el sistema *Output* té un guany aproximadament de 1dB. Estudis més profunds asseguruen que aquest guany tan reduït en el segon sistema és degut a la retroalimentació.



Gràfic 3: Guany en dB sistema sense considerar el divisor de tensions

En el Gràfic 3 es mostra el guany de voltatge a Q_2 , es representen les diferents corbes en

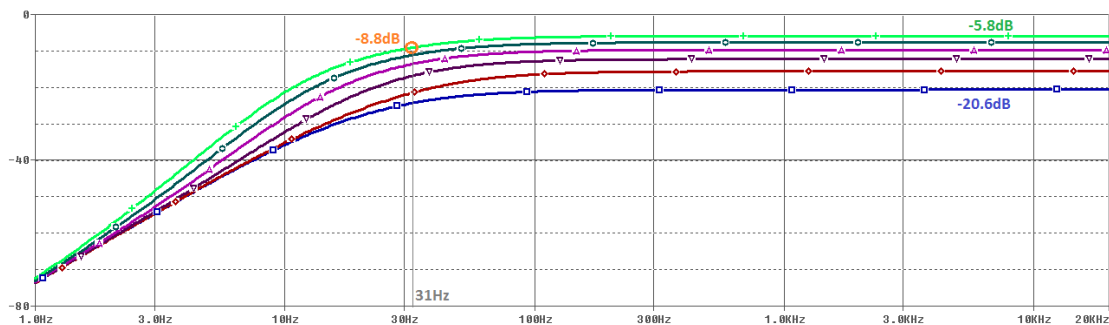
diferents posicions de R_{FUZZ} (amb el volum al màxim). Es veu l'atenuació a baixes freqüències pel filtre del sistema *input*.

Però abans d'arribar a la sortida, el col·lector està connectat a un divisor de tensions format per R_2 i R_3 . Aquest divisor redueix el guany en un factor de $R_2/(R_2+R_3) = 470/(470+8K2) = 0.054$ (-25dB). Aquest divisor redueix considerablement el guany. Així que el **guany de sortida** és:

$$G_{VTOTAL} = G_{VPEDAL} - \text{Atenuació de } R_2/(R_2+R_3) = 19.5 - 25 = -5.5\text{dB}$$

Tot i que sembli estrany el Fuzz és un pedal no dissenyat per a amplificar la senyal, com podria ser una altra distorsió (un *overdrive* per exemple).

El Gràfic 4 mostra el guany de la sortida, tenint en compte el divisor de tensions i el circuit sencer:



Gràfic 4: Guany en dB del sistema

6.2.3. Condensador C_2

Qualsevol impedància entre C_2 i el terra reduirà el guany del sistema output. És una forma de retroalimentació negativa. Incrementant aquesta impedància es redueix el guany.

Els condensadors presenten una reactància que decreix quan augmenta la freqüència. L'anàlisi de continua no es veu afectat, però amb senyals d'alterna més grans, s'obtenen voltatges més grans. En termes de disseny, la grandària del condensador es determina a partir de quina és la mínima freqüència que es desitja amplificar:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{pot1} \cdot C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 1K \cdot 22\mu F} = 7,2\text{Hz}$$

Totes les freqüències per sobre 7,2 Hz tindran amplificació total. Un condensador de 22 μ F és

considerablement gran, per tant gairebé totes les freqüències es veuran afectades. Per tant es pot considerar que C_2 deriva poca part de la senyal al terra.

6.3. Sistema retroalimentació

El Fuzz té una retroalimentació negativa anomenada CCCS (Current Controlled Current Source). Part de la corrent de la sortida es porta des de l'emissor del Q_2 a la base del Q_1 , passant per una resistència de 100k que està connectada en paral·lel a l'input i en sèrie a l'output.

Per què s'utilitza la retroalimentació?

- Reduir la no-linealitat de la distorsió: fer el *guany* constant
- Reduir el soroll: minimitzar la presència de senyals elèctrics no desitjats a la sortida
- Controlar impedància de sortida i entrada
- Dessensibilitzar el guany: fer el guany menys sensible a les característiques internes dels transistors o a condicions climàtiques externes.

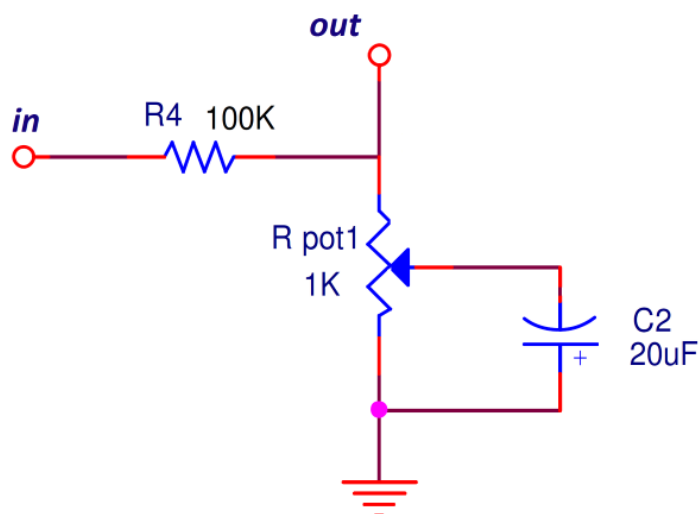


Figura 7: Sistema retroalimentació

Les propietats descrites anteriorment provoquen una reducció del guany, tal com s'ha vist en els apartats anteriors. Generalment, com més retroalimentació existent, menys guany global, aquesta premissa la justifica la següent expressió:

On:

$$\frac{G_{AT}}{1 + B_R \cdot G_{AO}}$$

- G_{AT} : Guany en anell tancat
- G_{AO} : Guany en anell obert
- B_R : Constant de retroalimentació

Quan el R_{FUZZ} està al mínim, una gran part de la senyal és retornada a Q_1 a través de la retroalimentació, creant una gran retroalimentació i reduint el guany total del pedal.

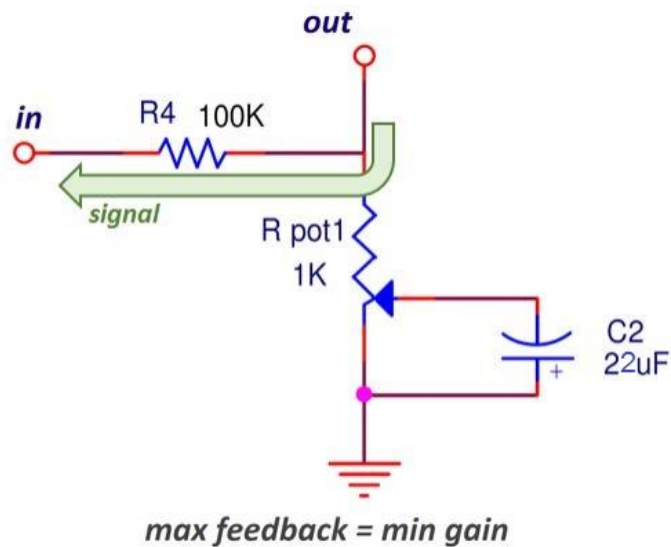


Figura 8: Corrent per la retroalimentació

A mesura que R_{FUZZ} augmenta, el condensador de 22 μ F augmenta gradualment la derivació de corrent al terra, això permet que el circuit operi amb més guany.

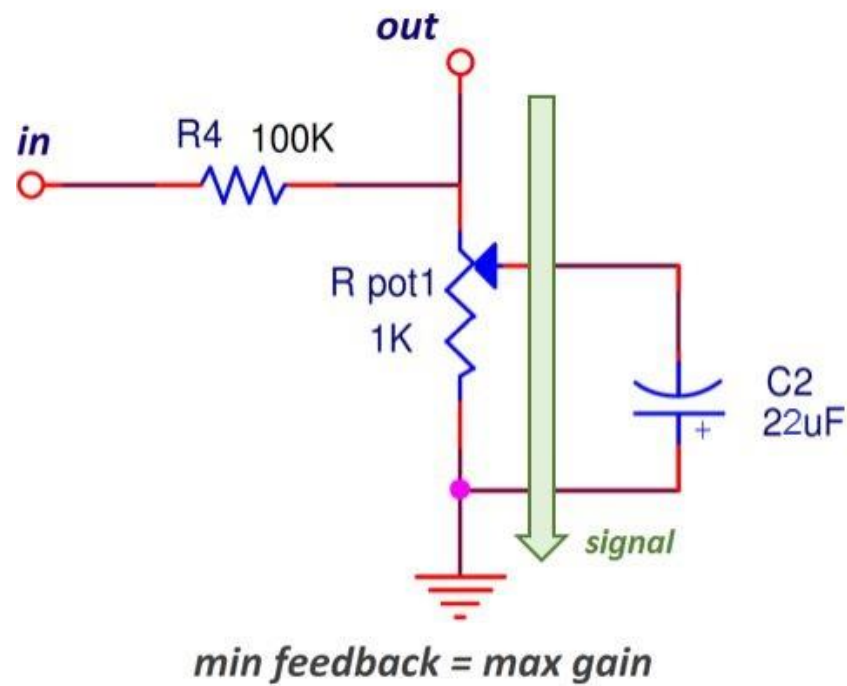


Figura 9: Corrent derivada cap al terra

6.4. Commutació elèctrica dels circuits

Una part important és com activar el pedal. Així que necessitem un interruptor o un sistema que faci la seva funció. En el nostre cas, igual que molts dels pedals del mercat, el pedal s'activarà i es desactivarà connectant o desconnectant el jack (input) . A continuació s'explica el seu funcionament:

La Figura 10 representa un jack femella estèreo :

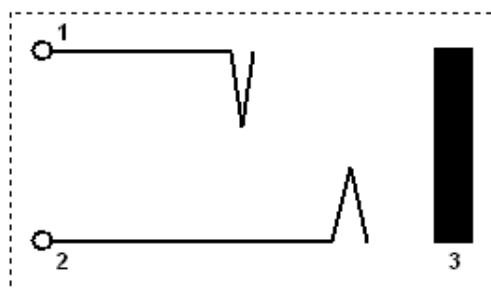


Figura 10: Jack femella estèreo

Segons els estàndards, els números de la figura s'anomenen:

1. *Tip* o punta, és el canal esquerra en un sistema estèreo
2. *Ring* o anell és el canal dret en un sistema estèreo
3. *Shield* o terra és la massa comú.

El més comú és connectar la guitarra amb un jack mascle *mono*, una vegada connectats, les parts corresponents passen a fer contacte, tal com es pot observar a la *Figura 11*:

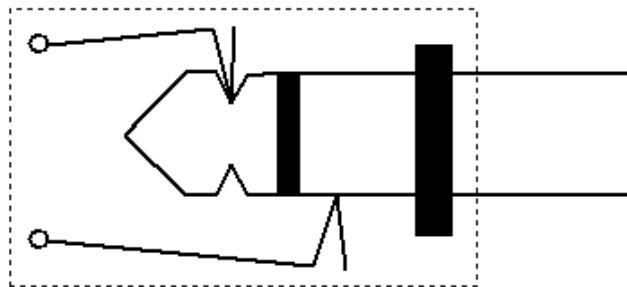


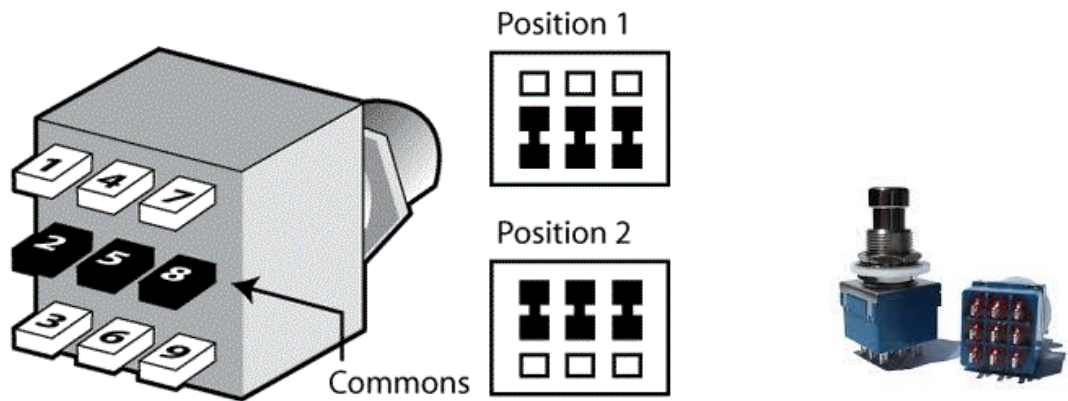
Figura 11: Jack femella i mascle connectats

La punta fa contacte amb la part esquerra del jack mascle; mentre que l'anell curtcircuita amb la part de la dreta del jack mascle i el terra. L'anell actua com un interruptor a massa, de manera que quan es connecta el mascle es curtcircuita a massa i quan el traiem queda a l'aire.

Així que connectant el positiu de la pila (recordem que el Fuzz és un PNP) a l'anell i a la massa del circuit ja tenim un interruptor automàtic pel sol fet de connectar el jack.

6.5. 3PDT. Interruptor de peu.

L'interruptor de peu 3PDT (*footswitch*) és un dispositiu que permet desviar la corrent elèctrica. S'utilitzarà un 3PDT com el de la *Il·lustració 1*. 3PDT significa "3 poles, double throw". La seva funció és commutar 3 connexions a la vegada i tal com es pot observar a la *Il·lustració 1* permet 2 posicions.



Il·lustració 1: 3PDT Footswitch

El que es vol aconseguir és molt simple:

- Posició 1: Input Jack va al input del circuit (de la placa); output del circuit (de la placa) va al output jack. A més a més, quan el pedal estigui en la posició 1, el *led* quedarà il·luminat indicant que el pedal està funcionant.
- Posició 2: input i output jacks van directament connectats, la corrent no passa pel circuit (per la placa), estem fent una derivació (*bypass*). El *led* no quedarà il·luminat.

7. Comparació Silici vs. Germani

Un dels temes que genera més polèmica quan parlem del FUZZ és el **material dels transistors**. Entre aficionats i col·leccionistes, les preguntes no paren de sorgir, és un tema de màrqueting bastant important, els fabricants són conscients d'això, és un tema important a concretar.

Realment no és una mera qüestió de màrqueting, sinó que cada un d'aquests materials presenta unes característiques sonores pròpies, a més de certs comportaments particulars a tenir en compte.

El germani va arribar amb els primers Fuzz, com a component electrònic s'utilitza des dels anys 40, les primers gravacions de Hendrix es van utilitzar amb transistors de germani. La característica principal d'aquest material és que reflecteix, a la seva manera, les qualitats d'un amplificador de vàlvules amb un volum molt alt que acaba distorsionant el so (això és el que buscaven imitar quan es va crear el Fuzz).

Els pedals basats en germani tenen un so càlid, rodó i solen exhibir una característica buscada per molts guitarristes: que el nivell de distorsió es redueix progressivament baixant el volum de la guitarra, permetent diferents graus de saturació només jugant amb un potenciòmetre.

Per altra banda, el germani és extremadament sensible a la temperatura ambient i fràgil a la soldadura. Un Fuzz de germani pot arribar a sonar diferent segons on s'utilitzi. Si la temperatura és molt alta caldrà plantejar-se algunes mesures abans de tocar.

Aquests defectes van donar peu a començar utilitzar el silici que és molt més estable. Els pedals construïts en silici solen oferir més guany i una distorsió amb més aguts, fet que conclou amb un so més definit i afilat. Els retalls bruscs de l'ona solen ser característics i no existeix la possibilitat de dominar-los amb un sol potenciòmetre. El silici té tendència a mantenir més el seu guany. Això pot suposar una avantatge si prefereixes que quan baixis volum, no es vegi reduïda la distorsió.

En resum, si el que busques és un Fuzz amb un so càlid, un estil *vintage* i que reaccioni bé als teus moviments amb el potenciòmetre de volum, l'opció més adequada són els transistors de germani. I si el que necessites és quelcom més consistent, estable i amb una distorsió més afilada, millor transistors de silici.

8. Estudi amb OrCad

8.1. Disseny de l'esquema

S'han fet diferents simulacions utilitzant el paquet OrCad PSPICE per a entendre més bé com es comporta el circuit, de quines variables depèn la sortida i com afecten aquestes variables als diferents elements. Aquest programa va ser utilitzat durant les pràctiques d'electrònica del grau d'enginyeria en tecnologies industrials, fet que ens ha ajudat molt en la construcció de l'esquema i la realització de les diferents simulacions.

La **senyal de la guitarra** es pot simular amb una font sinusoïdal d'una freqüència determinada (per exemple 440Hz seria la nota LA) i una amplitud de pocs milivolts (el rang d'aquesta amplitud pot anar des de pocs milivolts fins a un centenar; és un paràmetre que depèn de moltes variables de la guitarra com ara del tipus i el nombre de pastilles que porti, la seva qualitat, el circuit intern de la guitarra, etc. És un paràmetre difícil de controlar).

Una manera fàcil de dibuixar els potenciòmetres a l'esquema és formant un divisor de tensions. L'únic que s'ha de tenir en compte és que si per exemple el potenciòmetre és 1k Ω , les dues resistències sumades han de donar 1k Ω . Per exemple una resistència es podria fixar a 750 Ω , per tant l'altre 1k Ω -750 Ω =250 Ω .

Recordar que és un circuit PNP, per tant la font d'alimentació de 9V ha de tenir el positiu connectat al terra.

El més difícil de simular són els transistors, ja que els que venen de sèrie amb el programa difereixen amb els del circuit. S'ha creat una llibreria nova [8] a partir de la Breakout que inclou el programa; s'ha utilitzat un QbreakP [6], que són transistors PNP i s'han modificat diferents valors i afegit nous paràmetres. Les modificacions més importants són: **adició del paràmetre β -o Bf** en el model- que és el guany de cada transistor i **modificació de V_{BE0}** , V_{BE0} (V_{je} en el model) que per transistors de Germani són de 0,2V mentre que pels de Silici són 0,7V. S'han afegit altres paràmetres extrets de models ja fets [9] a partir de càlculs empírics.

model AC128lg PNP(Bf=70 Vje=0.2 Is=1.41f Xti=3 Eg=1.11

Ne=1.5 Ise=0 Ikf=80m Xtb=1.5 Br=4.977 Nc=2

Isc=0 Ikr=0 Rc=2.5 Cjc=9.728p Mjc=0.5776

A la referència bibliogràfica [7] hi ha la definició de cada paràmetre del model.

S'han creat dos models diferents dins la llibreria, el model AC128lg i model AC128hg. L'únic que canvia entre ells és el guany (β o Bf).

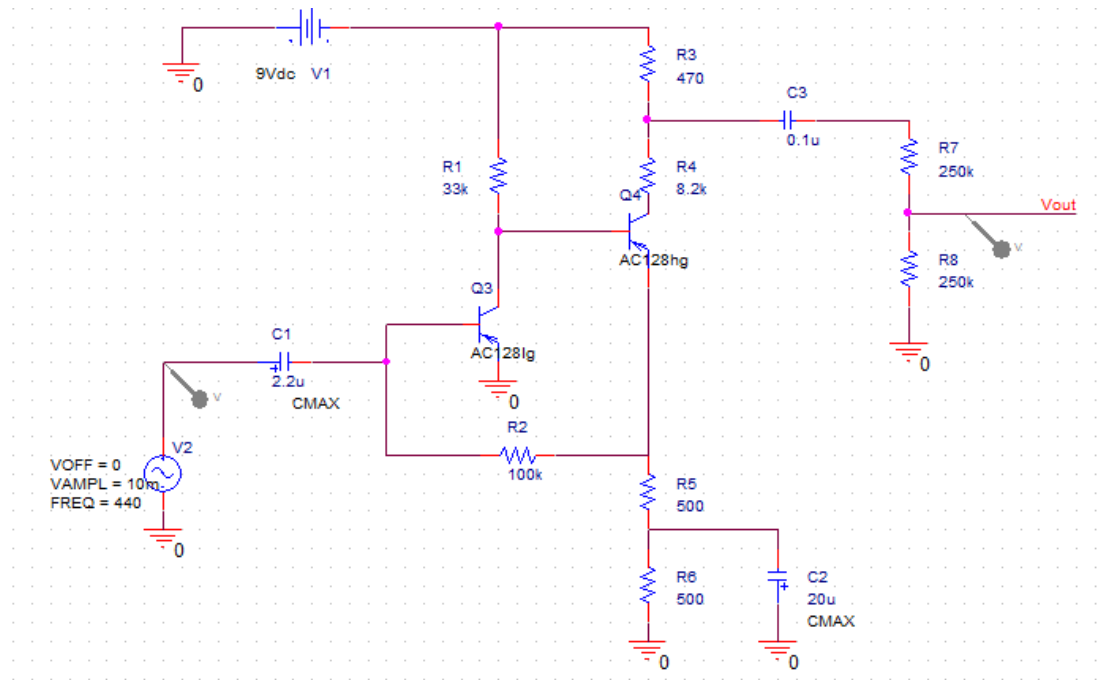


Figura 12: Esquema del Fuzz

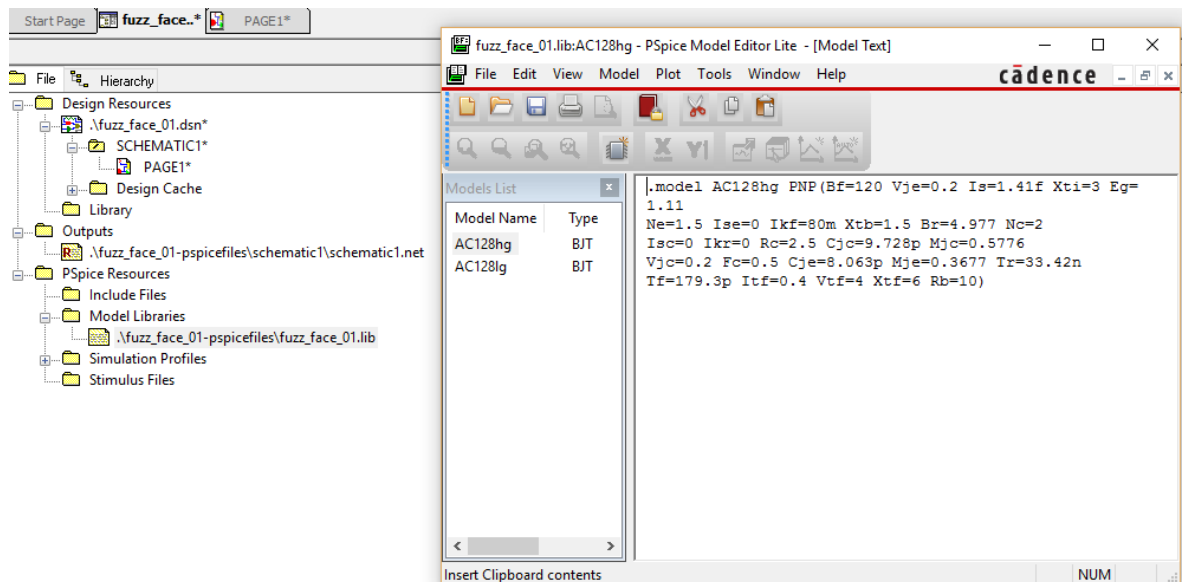


Figura 13: Biblioteca amb els 2 models dels transistors AC128hg i AC128lg

8.2. Simulacions

8.2.1. Voltatge nodes

Posant un marcador a V_{out} i fent una simulació en el domini del temps (*Time Domain*) podem observar els **voltatges dels diferents nodes**.

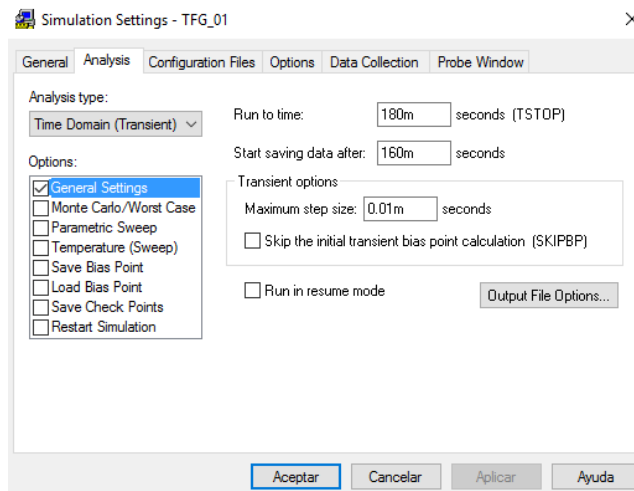
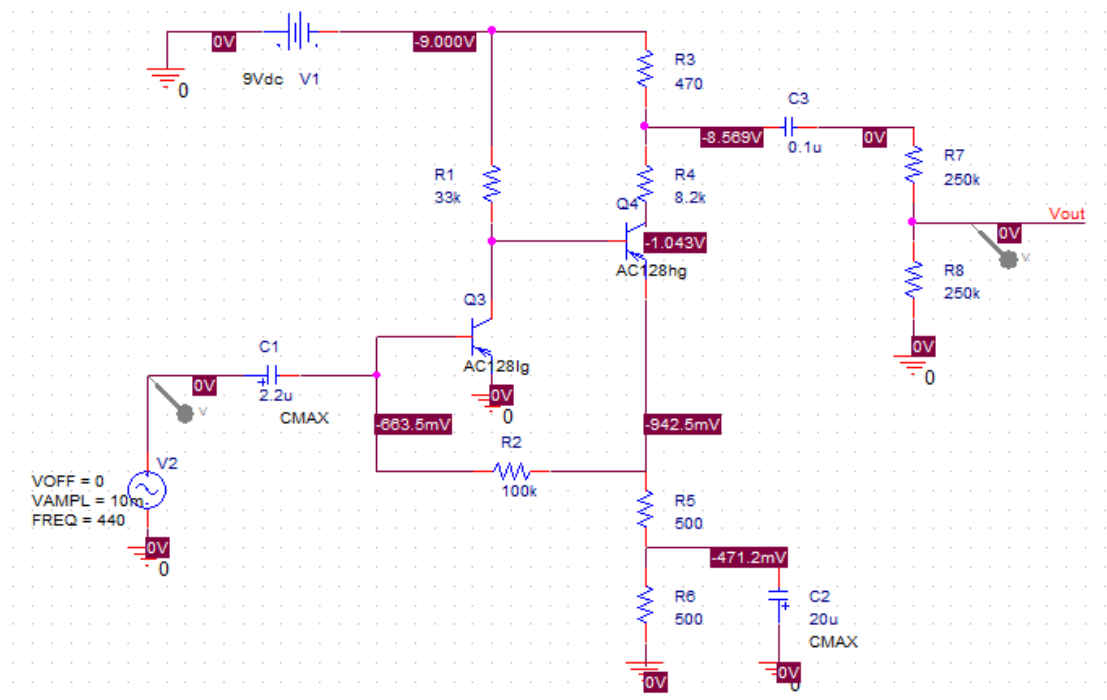


Figura 14: Disseny de la simulació en el domini del temps feta amb el PSPICE

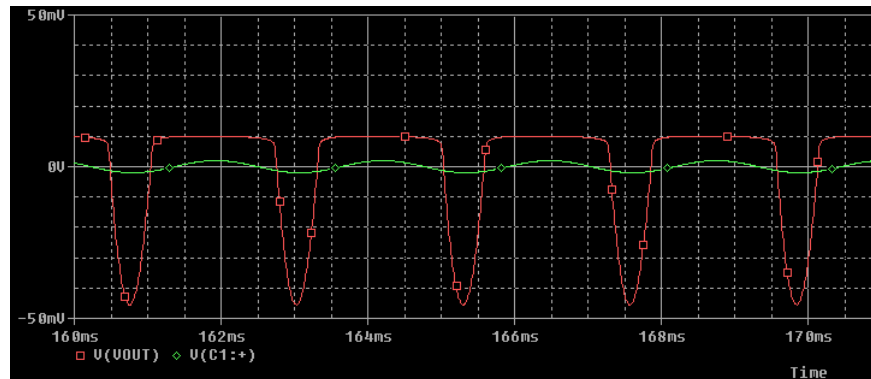


Simulació 2: Voltatges en els nodes del circuit

8.2.2. Amplitud de la senyal d'entrada

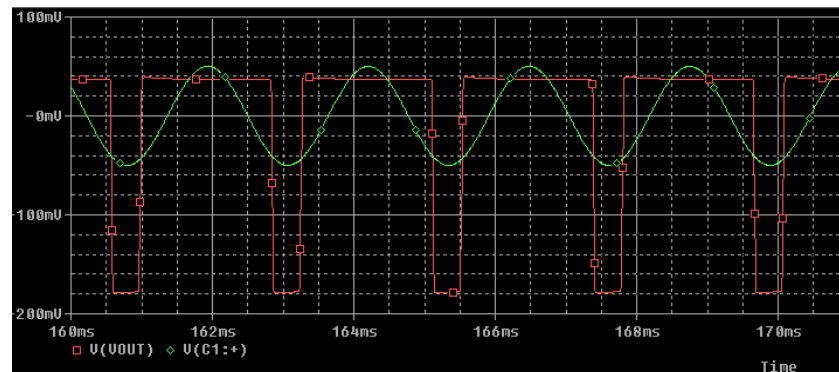
La segona característica a estudiar és com influeix l'**amplitud de la senyal d'entrada** a l'ona de sortida. S'ha simulat en el mateix circuit dues senyals d'amplitud diferents (2mV i 50mV).

Simulació 1: $V_{\text{ampl}} = 2\text{mV}$



Simulació 3: Amplitud 2mV. L'ona verda és l'input; ona vermella és l'output

Simulació 2: $V_{\text{ampl}} = 50\text{mV}$



Simulació 4: Amplitud 50mV. L'ona verda és l'input; ona vermella és l'output

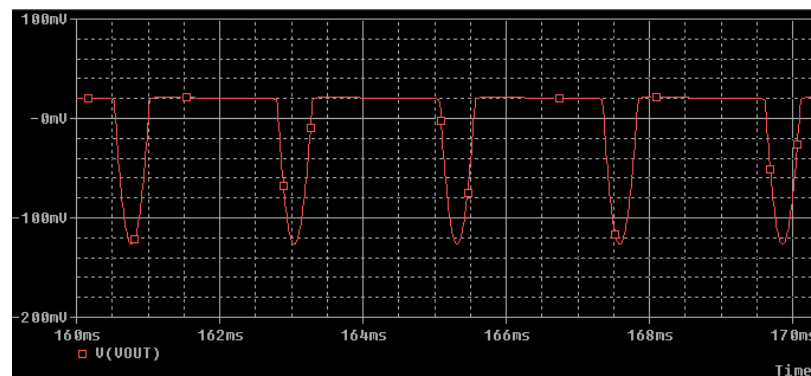
S'han realitzat simulacions amb més voltatges, però la seva tendència és fàcil d'identificar. Per això només es mostren un parell de simulacions. Es conclou que com més gran és aquest paràmetre més tendeix la senyal de sortida a un *hard clipping*.

Cal recordar que aquest és un dels paràmetres més difícils de controlar, per això cada guitarra tindrà dinàmiques molt diferents utilitzant el mateix Fuzz.

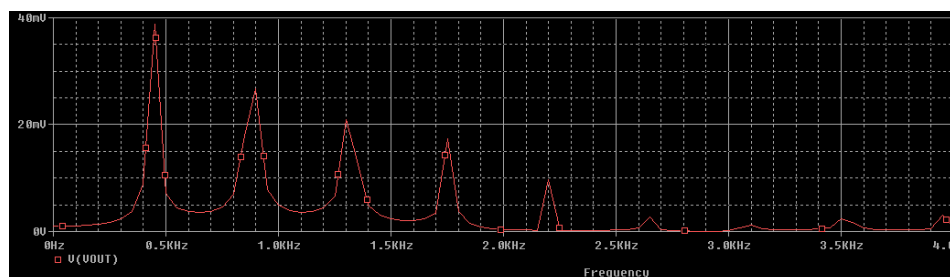
8.2.3. Influència dels guanys dels transistors (β)

Per altra banda, s'ha cregut interessant estudiar un tema que provoca moltes discussions i confusions actualment. Com afecten els **guanys dels transistors** a la sortida. S'han realitzat diferents simulacions amb el PSPICE per a treure'n conclusions. Totes han estat amb una V_{sin} de 440Hz i 10mV d'amplitud. És difícil interpretar musicalment les ones en el temps, per això es mostren també les Transformades de Fourier, de les quals podem llegir els harmònics i així imaginar-nos millor com seria el so.

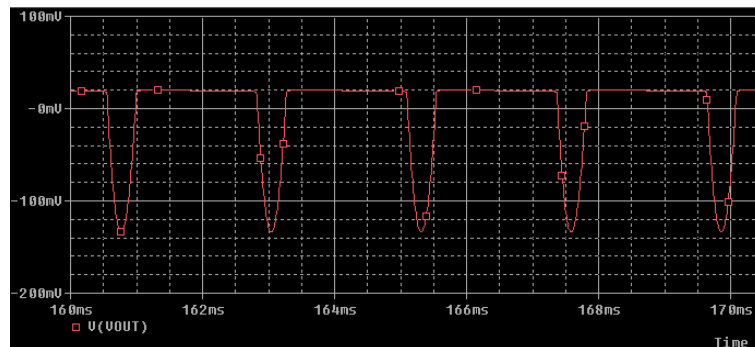
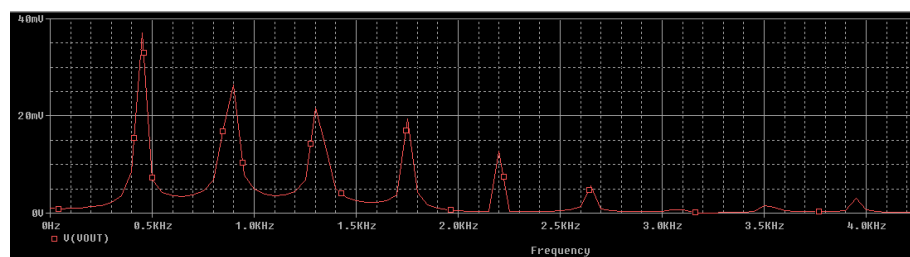
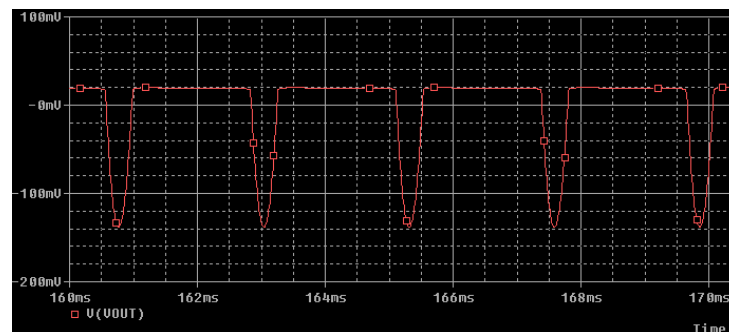
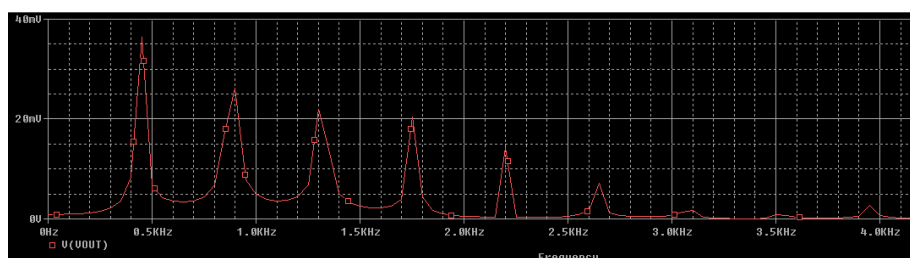
Simulació 1: $\beta_1=70$; $\beta_2=70$

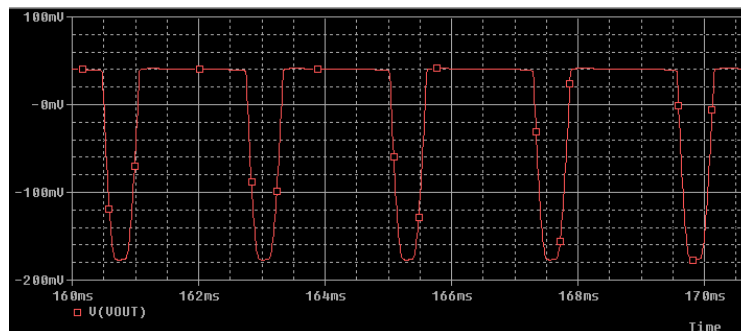
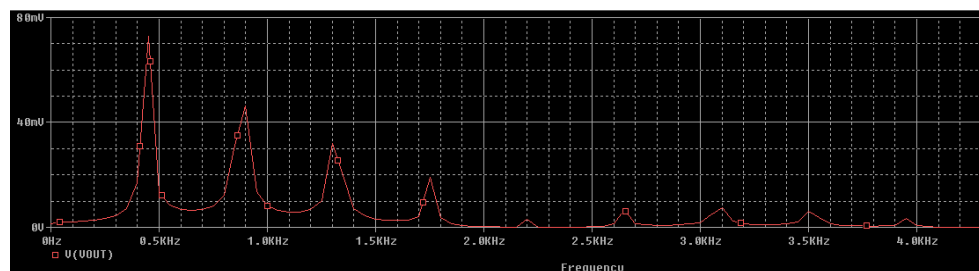
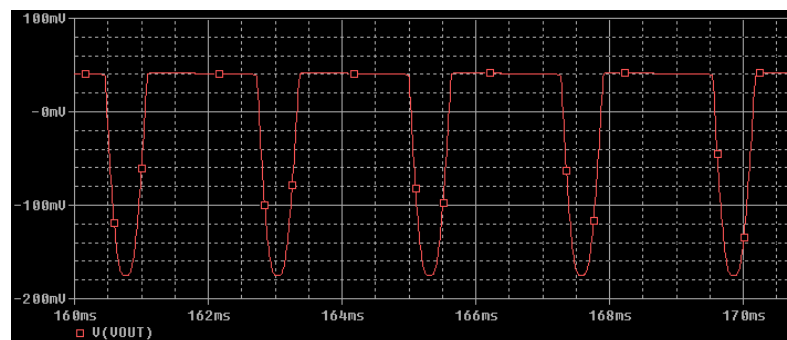
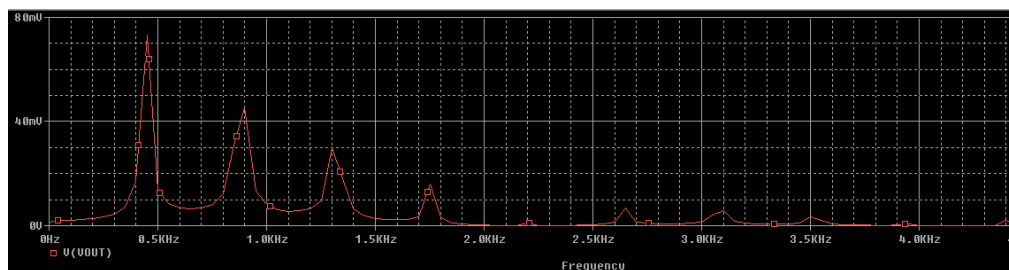


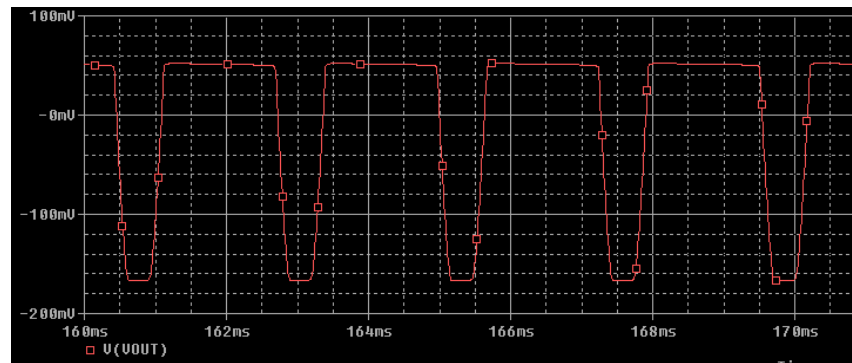
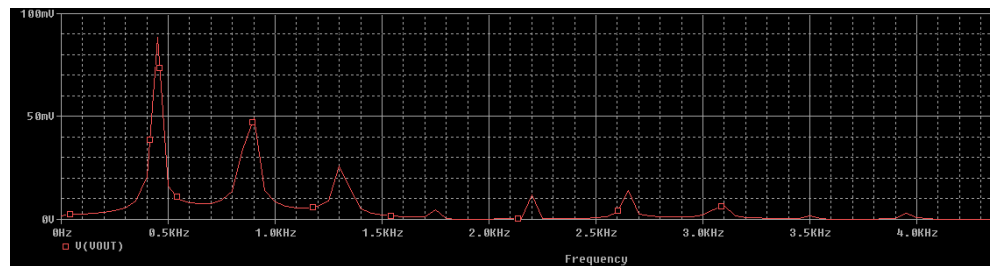
Simulació 5: Ona de sortida on els guanys dels transistors són $\beta_1=70$; $\beta_2=70$



Simulació 6: Transformada de Fourier de la Simulació 5

Simulació 2 : $\beta_1=70$; $\beta_2=120$ *Simulació 7: Ona de sortida on els guanys dels transistors són $\beta_1=70$; $\beta_2=120$* *Simulació 8: Transformada de Fourier de la Simulació 7***Simulació 3 : $\beta_1=70$; $\beta_2=180$** *Simulació 9: Ona de sortida on els guanys dels transistors són $\beta_1=70$; $\beta_2=180$* *Simulació 10: Transformada de Fourier de la Simulació 9*

Simulació 4 : $\beta_1=120$; $\beta_2=120$ *Simulació 11: Ona de sortida on els guanys dels transistors són $\beta_1=120$; $\beta_2=120$* *Simulació 12: Transformada de Fourier de la Simulació 11***Simulació 5 : $\beta_1=120$; $\beta_2=70$** *Simulació 13: Ona de sortida on els guanys dels transistors són $\beta_1=120$; $\beta_2=70$* *Simulació 14: Transformada de Fourier de la Simulació 13*

Simulació 6 : $\beta_1=180$; $\beta_2=70$ Simulació 15: Ona de sortida on els guanys dels transistors són $\beta_1=180$; $\beta_2=70$ 

Simulació 16: Transformada de Fourier de la Simulació 15

Mirant les simulacions en el temps, podem arribar a la conclusió que el canvi en el guany dels transistors pot tenir efecte a la forma de l'ona. Sembla ser que la tendència es pot resumir amb la Taula 1:

| | Augmentar β | Disminuir β |
|---------------|---|--|
| Transistor Q1 | Augmenta el <i>hard clipping</i> i el guany total | Augmenta el <i>soft clipping</i> i disminueix el guany total |
| Transistor Q2 | Disminueix el guany total | Augmenta el guany total |

Taula 1: Relacions de les variacions dels transistors

L'augment del guany total és molt negligible i és totalment compensable amb el potenciòmetre de volum, per tant no suposa cap mena d'inconvenient pel pedal.

Generalment, es pot acceptar que com més *hard clipping* menys presència hi ha del 4 harmònic. Com ja s'ha explicat, el 4 harmònic té una freqüència doble del segon, la seva altura serà una octava per sobre aquest, menys presència d'aquest harmònic significarà un so més tancat, no tant colorit, però a la vegada més estrident, més dur.

9. Estudi dels transistors

Com s'ha comentat anteriorment segons els tipus de **transistors** que utilitza el fuzz, el so pot ser diferent, per tant s'ha decidit recol·lectar-ne diversos per provar-los i quedar-nos amb el més adient pel nostre pedal. Al llarg de la història s'han utilitzat diferents transistors, moltes vegades per raons econòmiques o de viabilitat de recursos, així que ens hem basat amb altres pedals que s'havien creat per tal de recol·lectar els transistors més habituals:

- AC128: és el candidat número 1. És el transistor característic dels primers Fuzz que es van crear en els 60. Té el so clàssic del Fuzz, una distorsió suau. Té un bon rati d'harmònics. El vam aconseguir a través d'EBAY provinent dels EEUU. En tenim 2 exemplars.
- AC188: És el germà petit del AC128, és un model amb unes propietats gairebé idèntiques però amb proporcions més petites. Creat per aplicacions de voltatge més petites. S'ha utilitzat com alternativa del AC128 i dóna resultats boníssims. L'hem aconseguir a **Radio Onda**, una botiga d'electrònica de Barcelona. En tenim 4 exemplars.
- AC180: Tal com es pot apreciar en el full de característiques (Annex 3. *Datasheet*.) no difereix molt dels darrers transistors, tot i això no té tanta presència en el mercat. S'ha utilitzat més d'una vegada en Fuzz, de fet s'ha aconseguir d'un pedal antic. En tenim 1 exemplar
- OC74: Un altre component de la vella escola, és una bona solució per aquests pedals. Té un rang de guany més petit entre 60-150, però les altres característiques són semblants a la dels altres transistors, s'aconsegueix un bon so.

Es pot trobar més informació en els full de característiques a Annex 3. *Datasheet*.



Il·lustració 2: Transistor AC128

S'han realitzat diverses proves per testejar la qualitat dels transistors. Primerament, amb els multímetres del laboratori es van mirar els guanys del transistors de manera ràpida, amb l'opció hFE de la *II·l·lustració 3*. A més també és una manera d'identificar quina cama és la base, l'emissor i el col·lector ja que en la majoria d'exemplars no venen marcats i segueixen lògiques diferents.



II·l·lustració 3: Multímetre

Tots els multímetres moderns assumeixen que els transistor **no tenen pèrdues**, tant sols mesuren la corrent a la base i calculen per quan ha estat multiplicada en el col·lector. Aquesta premissa de no-pèrdues no és pot acceptar pels dispositius de germani, on un dels seus punts negatius són els mal funcionament per accés de pèrdues.

Així que s'han mesurat les pèrdues i també el guany que té cada transistor per comprovar la seva viabilitat. S'ha realitzat el següent petit muntatge en el laboratori a una placa de proves (*protoboard*). S'ha necessitat una bateria de 9V, 2 resistències (2,2M 2.47) i un multímetre. Procediment extret de [5].

Germanium Transistor Testing for FF

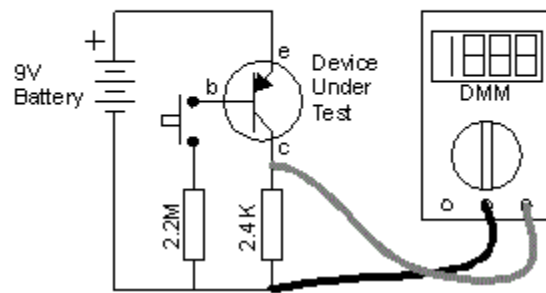


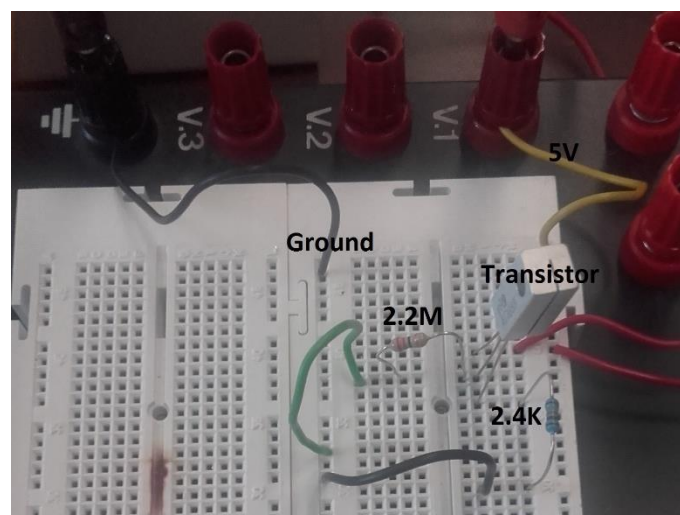
Figura 15: Esquema per testejar el guany dels transistors

Primerament es llegeix el voltatge a la resistència de 2.4K, sense tenir connectada la resistència de 2.2M (V_{cnc} - voltatge col·lector, no connectat). La resistència converteix qualsevol pèrdua en voltatge que es pot llegir en el multímetre. Així que dividint el voltatge entre la resistència de 2,4K s'obtenen les pèrdues en microampers:

$$perdues = \frac{V_{cnc}}{0.0024}$$

Per cada miliamper de pèrdues es llegeixen 2,4V; tot i així cap transistor amb aquestes pèrdues seria útil. Es pot considerar que el voltatge mesurat en el multímetre és un “guany fals” que serà restat posteriorment en el guany real.

Per calcular el guany total real es connecta la resistència de 2,2M a la base del dispositiu analitzat.



II·lustració 4: Circuit a la protoboard per testejar el guany dels transistors

Una intensitat de poc més de 4 μA ara flueix a través de la base. El guany total és la intensitat de 4 μA multiplicada pel guany intern del transistor i la suma de les pèrdues (que no canvia amb diferents corrents de base).

Per tant per poder restar aquestes pèrdues es mesura V_{csc} (voltatge col·lector, si connectat) a la resistència de 2,4K. Aplicant la formula següent es troba I_c amb miliamers.

$$I_c = \frac{V_{csc} - V_{cnc}}{2,4 * 10^6}$$

Ara que ja es tenen I_b i I_c tant sols hem de dividir-les per trobar el guany real (β).

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

Seguint aquest procediment, es pot prevenir la situació següent: si suposem unes pèrdues de 100 μA , el $V_{cnc} = (100\text{E-}6) * 2472 = 240\text{mV}$. Les pèrdues ens estan fent creure que hi ha un guany de gairebé 25 quan no hi ha corrent a la base.

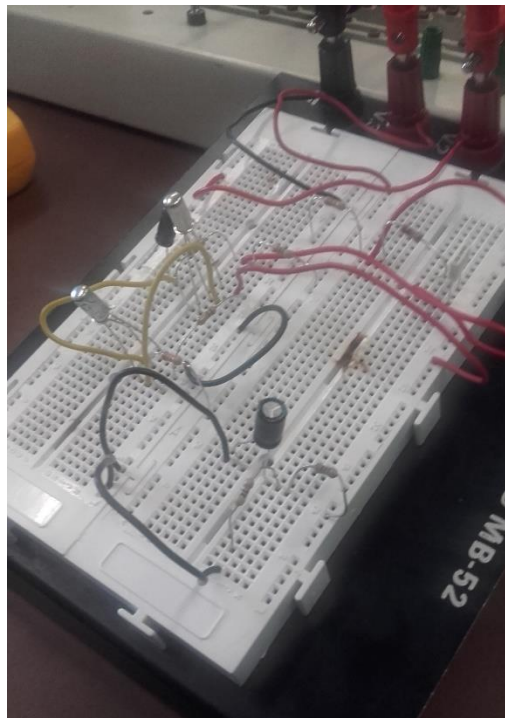
| | Vcsc (V) | Vcnc (V) | leakage (microA) | Ic (micraA) | B=Ic/Ib |
|----------------|------------|------------|------------------|-------------|------------|
| AC188-1 | 3,34333333 | 2,05 | 829,2880259 | 523,193096 | 130,798274 |
| AC188-2 | 4,7 | 3,3 | 1334,951456 | 566,343042 | 141,585761 |
| AC188-3 | 2,24 | 1,41 | 570,3883495 | 335,760518 | 83,9401294 |
| AC188-4 | 3,73333333 | 2,22333333 | 899,4066882 | 610,841424 | 152,710356 |
| AC180-1 | 2,63666667 | 1,44333333 | 583,8727077 | 482,740022 | 120,685005 |
| OC74 | 2,49 | 1,67333333 | 676,9147789 | 330,366775 | 82,5916936 |
| AC128-1 | 1,927 | 1,205 | 487,4595469 | 292,071197 | 73,0177994 |
| AC128-2 | 3,41 | 2,38 | 962,7831715 | 416,666667 | 104,166667 |

Taula 2: Guany i pèrdues dels diferents transistors

10. Simulació a una placa de proves (*protoboard*)

Abans de construir la placa, es va muntar el circuit a una de les *protoboards* del laboratori. Una **placa de proves** (*protoboard* o *breadboard*) és un placa amb orificis que es troben connectats elèctricament entre si de manera interna, habitualment segueixen patrons de línies, en els quals es poden col·locar components electrònics i cables per simular circuits. Durant el grau en tecnologies industrials a l'**assignatura d'electrònica** s'han realitzat diversos muntatges a la placa de proves, això ens ha donat agilitat per fer el muntatge i utilitzar els diferents aparells com la font de tensió, el simulador de senyals i l'oscil·loscopi. A la *Il·lustració 5* es mostra el muntatge a la placa de proves.

L'objectiu és verificar el bon funcionament del circuit en qüestió.



Il·lustració 5: Muntatge del circuit en una protoboard

Primer de tot es va comprovar si els dispositius que s'havien comprat funcionaven correctament. Això va permetre descartar que no n'hi hagués cap defecte de fàbrica, fet que hagués complicat molt la identificació del problema en passos posteriors.

Seguidament es va comprovar que la seva resposta (la forma d'ona) fos la correcta. Una vegada muntat el circuit, amb el simulador d'ona es va crear una ona sinusoïdal i connectant la sortida (*output*) del circuit a un oscil·loscopi es va poder comprovar que la modificació d'ona que feia el circuit era la correcta.

Per altra banda, es van comprovar els voltatges simulats anteriorment, es van comprovar els 5 nodes que mostra la Figura 16. Amb el multímetre i l'ajut de dos cables un connectat al terra i l'altre en el node que volíem estudiar.

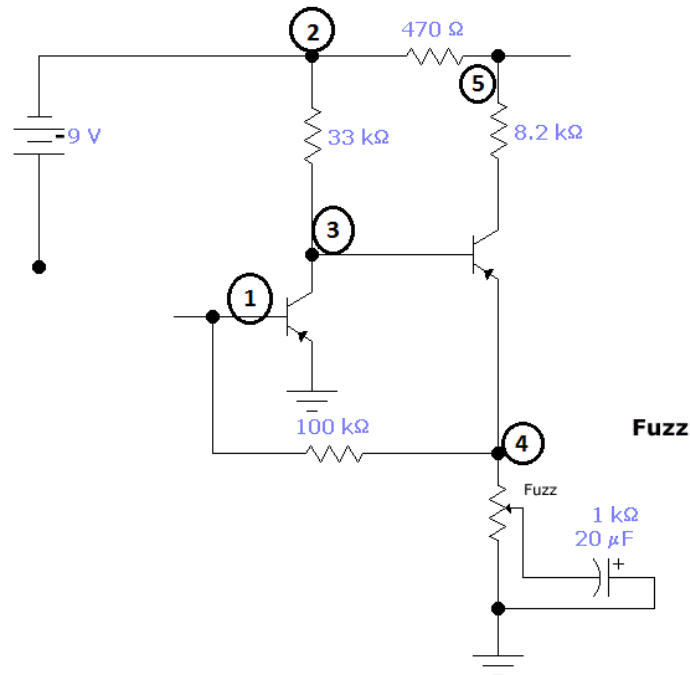


Figura 16: Nodes on es van comprovar els voltatges

| | Node 1 | Node 2 | Node 3 | Node 4 | Node 5 |
|-------------|------------|----------|----------|-------------|----------|
| AC128 1 i 2 | - 660,1 mV | - 8,99 V | - 1,32 V | - 850, 3 mV | - 8.85 V |

Taula 3: Voltatges dels diferents nodes




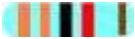




Es van realitzar els càlculs del voltatge amb els transistor AC128. Els valors no difereixen en excés amb els simulats.

11. Construcció

11.1. Llista de components

El primer pas important és tenir una bona llista de components (*parts list*) per aconseguir correctament tots els elements necessaris per la construcció. Es va fer el màxim clara possible per evitar errors comuns com ara despistar-nos identificant els codis de colors de les diferents resistències, connectar condensadors que no eren o amb la polaritat incorrecta, etc.

Resistències

| Referència | Valor | Marcades a 3 bandes | Marcades a 4 bandes |
|------------|-------------------------------|--|--|
| R1 | 33k Ω | Marró-Verd-Verd  | Marró-Verd-Negra-Groc  |
| R2 | 100k Ω | Taronja-Taronja-Taronja  | Taronja-Taronja-Negra-Vermell  |
| R3 | 470 Ω | Groc-Lila-Marró  | Marró-Negra-Negra-Taronja  |
| R4 | 8k2 Ω (8200 Ω) | Gris-Vermell-Vermell  | Gris -Vermel-Negra-Marró  |

Taula 4: Llista de les resistències del circuit

Condensadors

| Referència | Valor | Tipus |
|------------|------------------------------|--|
| C1 | 2.2μF | Polaritzat. Electrolític. |
| C2 | 22μF | Polaritzat. Electrolític |
| C3 | 0.01μF | No polaritzat. Polièster metal·litzat. |

Taula 5: Llista dels condensadors del circuit

Potenciòmetre

| Referència | Control | Valor | Tipus |
|------------|---------|-------|------------|
| VR1 | Fuzz | 1k | Lineal |
| VR2 | Volum | 500k | Logarítmic |

Taula 6: Llista dels potenciòmetres del circuit

Altres:

- 2 Transistors
- LED vermell
- Jack femella estèreo (*Estèreo quarter-inch jack*)
- Jack femella mono (*Mono quarter-inch jack*)
- Bateria 9V
- Interruptor de peu (*Heavy Duty 3PDT footswitch*)
- Connector clip per bateria de 9V (*battery snap 9V*)
- Botons (*Knobs*)

- Caixa (*Enclousure*)
- Cables
- Placa Perfboard

11.2. Mecanització de la caixa

Una de les parts més importants del pedal és el seu aspecte. Si es vol que tingui èxit i la gent el compri l'estètica juga una part important en el projecte, per tant s'ha de tenir molta cura a l'hora de realitzar la caixa que envoltarà el pedal. També són important unes bones propietats resistents ja que la caixa serà l'únic element que protegirà el circuit elèctric!

S'ha decidit realitzar la caixa amb acer inoxidable degut a les seves propietats que ens garanteixen una resistència suficient i a la vegada un acabat *mirall* molt innovador i atractiu. S'ha realitzat a la empresa **ALTRINOX**, on vàrem tenir la sort de poder assistir i ajudar en el procés.



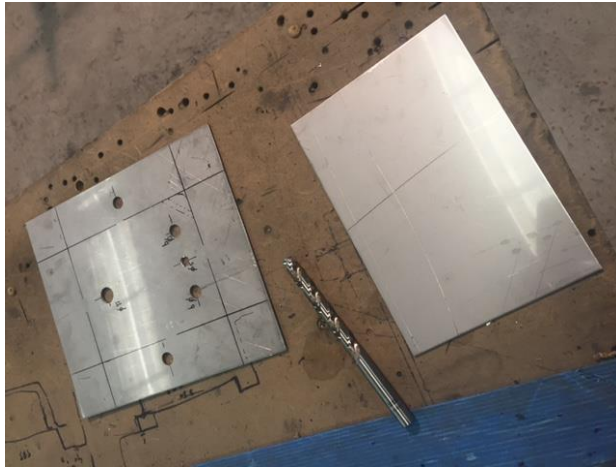
Figura 17: Logotip Altrinox

La caixa està formada per dos parts, la part superior i la tapa. S'han decidit les mides de l' *Annex 1* per tal de poder distribuir tots els seus elements espaiosament i evitar contactes que produïssin problemes.

La mecanització de la caixa està basada a partir d'una xapa d'inoxidable de 1,5mm de gruix.

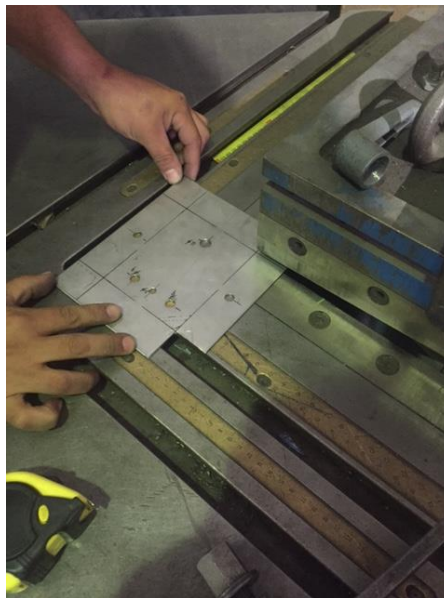
El procés que s'ha seguit és el següent:

1. Tallar dues parts (la part superior i la tapa) i realitzar els forats per allà on passaran els elements del pedal (els 2 potenciòmetres, 2 jack femelles, l'interruptor pels peus i el led)



Il·lustració 6: Xapa marcada i foradada

2. Cisallar les esquadres de la placa, preparant la caixa pel posterior plegat.



Il·lustració 7: Cisallament dels vèrtexs

3. Polir la possible rebava que s'hagi pogut formar en el procés de cisalla



Il·lustració 8: Polir les rebaves

4. Utilitzant una plegadora industrial, es procedeix a plegar les quatre parets aconseguint un angle de 90° respecte la base. S'utilitza un escaire per tal d'assegurar-nos de complir amb els angles, es repeteix el procés de plegar i comprovar diverses vegades per cada paret.



Il·lustració 9: Plegadora industrial

5. Soldar les quatre línies dels vèrtexs per tal d'aconseguir compactar la caixa. Es va soldar utilitzant gas argó, pensat per soldar peces petites com el nostre pedal.
6. Construcció de 4 peces que permetran la unió de la caixa amb la tapa, tindran la forma de la *Il·lustració 10* i un rosca de 4mm. Estan situades en els vèrtexs de la caixa. Cal crear-les i soldar-les.



Il·lustració 10: Peça per unir la caixa amb la tapa

7. Polir el pedal. Es van fer varies passades. Es va començar amb un polit setinat que elimina tots les petites rebaves. Seguidament amb un altre disc s'aconsegueix el polit mirall. Aquest acabat és molt utilitzat actualment sobretot en electrodomèstics. S'ha cregut oportú un polit mirall, ja que tot i la seva delicadesa, dona el pedal un acabat poc utilitzat, innovador i modern.



Il·lustració 11: Polint el pedal

8. Comprovar les mides de la tapa, treure la rebava, fer els forats i polir-la.



Il·lustració 12: Construcció de la tapa

11.3. La placa

La placa s'ha construït en una *Perfboard* que és una placa de circuit perforada, els forats de la qual estan envoltats de material conductor, generalment coure, que no estan interconnectats entre si. Aquest tipus de plaques requereixen que cada component estigui soldat a la placa, a més a més cal realitzar mitjançant cables o camins de soldadura les interconnexions entre els components

La distribució dels diferents components a la placa es va realitzar optimitzant el màxim d'espai possible. A continuació es pot observar un esquema:

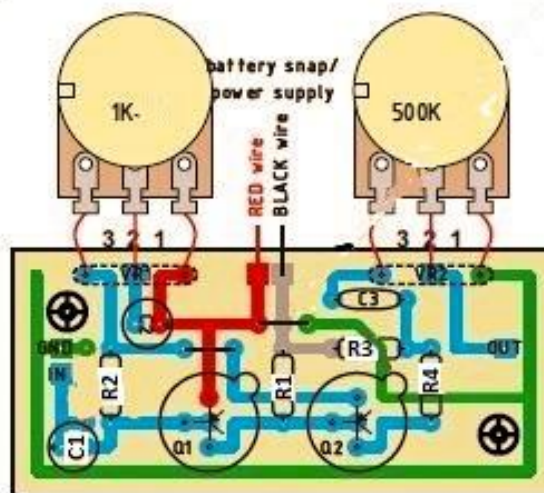


Figura 18: Distribució dels diferents components a la placa

Primer de tot es van col·locar tots els components a la placa, seguint l'esquema, forçant una mica les potes s'aconsegueix que no caiguin els components. Es dibuixen els camins, que posteriorment són soldats amb un llapis de soldadura i estany per la part de la placa on hi ha el coure. Els pots ajudar fent una imatge especular, ja que per la part de sobre es on posarem els elements i per la de sota es per on soldarem els camins.

A l'hora de soldar els camins entre components s'ha d'anar molt en compte ja que els forats estan junts i es podrien unir camins erronis.



Il·lustració 13: Soldadura de la placa

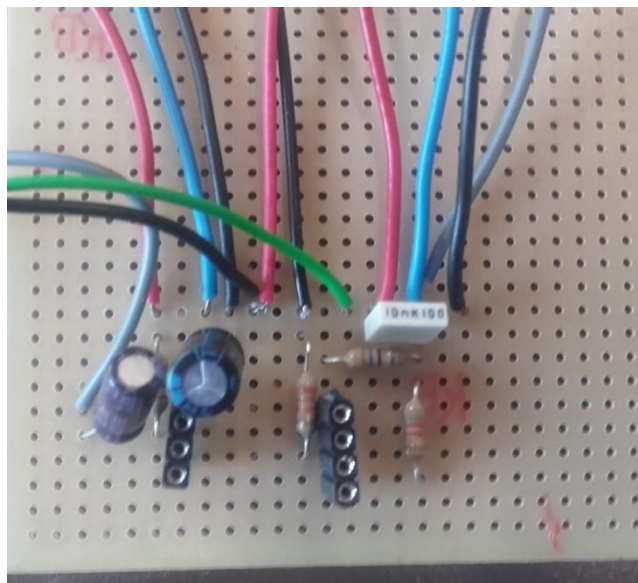
El procés de soldadura és delicat i requereix de paciència i destresa. Utilitzant un llapis de baixa (11W) o mitjana potencia (25W) i un estany mínimament de qualitat aconseguirem bons resultats.

Les soldadures haurien de quedar el més netes i brillants possible. També haurien de quedar ben esteses sobre el coure de les pistes. S'han de mantenir fixes els components fins que la soldadura quedi ben sòlida per evitar **soldadures fredes**. Aquestes soldadures tot i la seva aparença correcta, no tenen un bon contacte ja que es forma una capa aïllant entre la cama i la pista. Les soldadures fredes també poden aparèixer per refredaments ràpids.

S'han de tenir certes precaucions com ara disposar d'una esponja humida per netejar el soldador, vigilar no cremar-se, etc. A conseqüència d'aquestes altes temperatures, s'ha de tenir agilitat en el procés perquè si no podem danyar els components o les pistes.

Com es pot observar a la *Il·lustració 14* de la placa, els transistors no s'han soldat directament, sinó que s'han soldat uns *sockets*. S'ha decidit així per dos motius principals:

- Delicadesa dels transistors de germani a la soldadura, és molt fàcil danyar-los o fer-los malbé.
- Tenir la possibilitat de provar els diferents sons combinant els transistors, més endavant es pot trobar més informació sobre aquest punt.



Il·lustració 14: Components soldats a la placa

11.4. Cablejat de fora la placa (*offboard*)

En aquest apartat s'exposarà el cablejat entre la placa i els diferents components que formen el pedal. Connectat a la placa va un jack estèreo femella (on es connectarà un jack *input* provinent de la guitarra), un jack mono femella (on es connectarà un jack *output* cap a l'amplificador), els dos potenciòmetres, l'interruptor de peu 3PDT (permetrà commutar entre el bypass i l'efecte FUZZ) i un led (senyalització visual quan el pedal estigui funcionant).

La pestanya terra (*shield*) de l'input jack farà de massa del sistema. La placa ajunta tots els terres en una sola sortida, indicada de color verd a la *Figura 19*. El *led* va connectat en sèrie amb una resistència de $2k2\Omega$ per tal de que no es cremi.

L'esquema complet d'aquestes connexions es mostra a continuació:

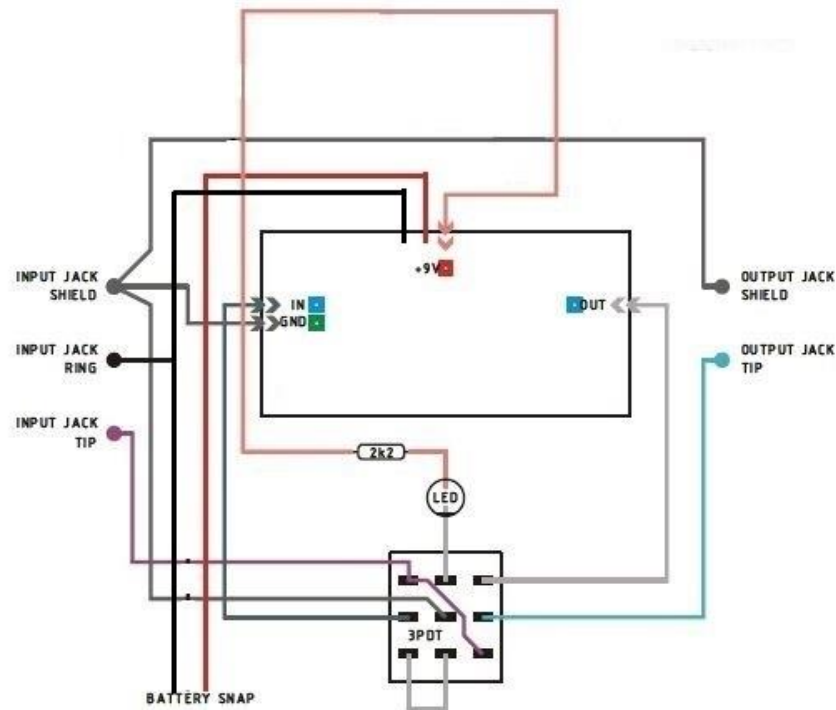
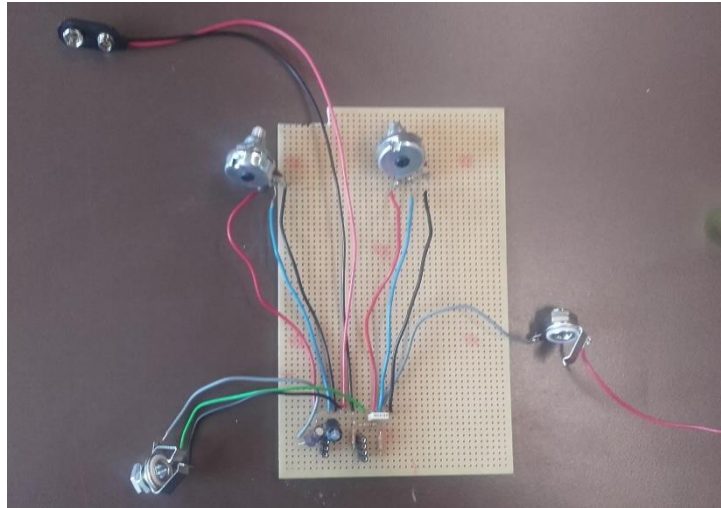


Figura 19: Cablejat de fora la placa

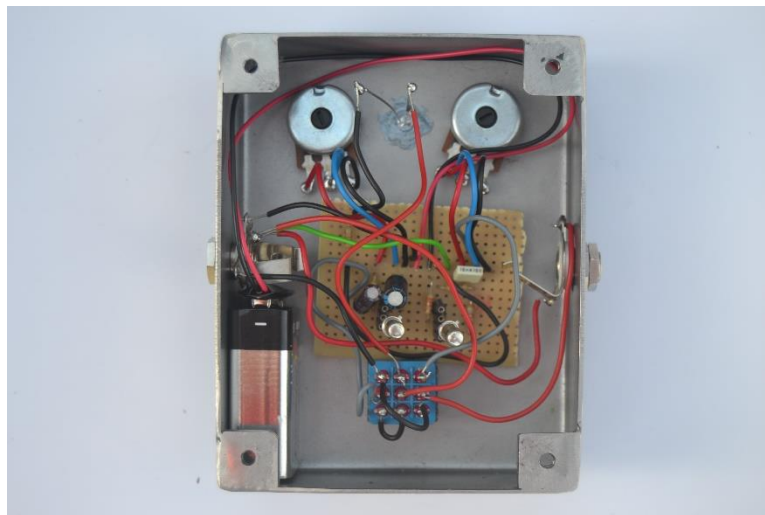
Per soldar els diferents components, s'ha jugat amb els colors dels cables per intentar-ho fer el més comprensible possible. Per exemple, els potenciòmetres estan formats per tres cables, el color negre és la part que va connectada al terra; el vermell el que ve del circuit i el blau el que "regula" la resistència. Tant l'entrada com la sortida s'han cablejat de color gris. Finalment cal recordar que es un PNP, el negre és el negatiu de la pila (-9V).

Abans de fer el muntatge complet amb el 3PDT dins la caixa, per la complexitat que comportava desfer la soldadura si s'hagués produït algun error, es va decidir fer el muntatge sense el *bypass* per comprovar si la part principal del sistema (la placa, els dos potenciòmetres i les dos femelles) funcionaven correctament. Es va fer el muntatge següent i tot va anar com estava previst.



Il·lustració 15: Muntatge de prova

Finalment es va muntar el sistema dins la caixa. Primer de tot es van fixar els components com ara el 3PDT, els potenciòmetres i els jacks femelles. Una vegada fixats els components es van cablejar les connexions que faltaven, es van haver de retallar alguns dels cables per optimitzar espai a l'interior de la caixa. La bateria anirà subjectada amb algun tipus d'adhesiu. Els transistors tampoc aniran soldats per si mai volen ser canviats, a més a més no és gens aconsellable per la seva delicadesa a la temperatura, així que aniran subjectats amb una cinta adhesiva aïllant.



Il·lustració 16: Muntatge dins la caixa amb tots els components

12. Disseny

12.1. Disseny cara frontal

Com tot projecte, si es vol comercialitzar, la primera impressió és el disseny extern, per això aquest es converteix en una part important en el nostre treball. S'ha cregut important aconseguir un disseny professional i divertit. Juntament amb un estudiant de disseny vam fer una pluja d'idees (*brainstorming*) de com es podien aprofitar els elements del pedal i incloure'ls en el nostre disseny. Després de diverses idees, la que ens va semblar més cridanera i factible va ser la cara d'un pallaso traient la llengua (la llengua és el 3PDT). Aquesta és el resultat final:

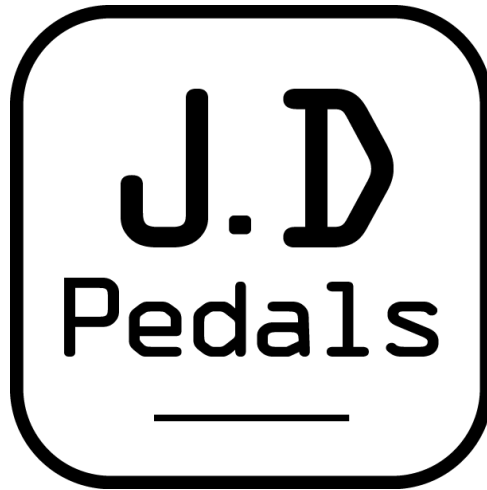


Il·lustració 17: Disseny cara frontal

Degut a la complexitat d'aplicar certes tècniques per reproduir el disseny anterior a la caixa del pedal, s'ha decidit que la més ràpida i efectiva seria un adhesiu. Pel que fa la impressió, no es volia tapar l'acabat d'efecte mirall aconseguït anteriorment. Així que es va optar per un adhesiu transparent laminat, que el faria més resistent a cops i rascades. Es van fer gairebé una desena de rèpliques amb diferents colors, per triar quina conjugava més amb el nostre acabat.

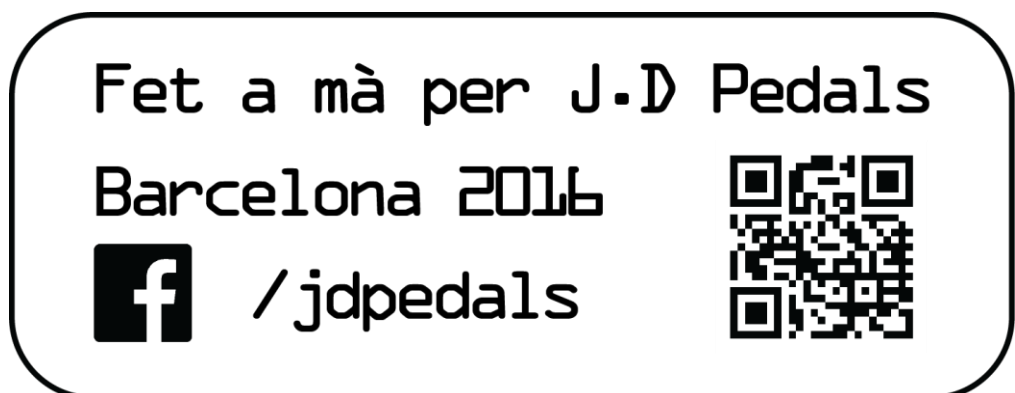
12.2. Logotip i cara posterior

La idea del FUZZ m'ha engrescat molt i tinc ganes de que no sigui l'últim pedal que construeixo, per tant s'ha decidit crear un logotip simple amb les meves sigles (J.D) per reconèixer i personalitzar els meus pedals.



Il·lustració 18: Logotip J.D Pedals

A més a més de la cara frontal i el logotip, s'ha complementat la cara posterior amb un adhesiu on s'informa del lloc i de la data de creació. S'ha afegit un enllaç per trobar més informació de propers projectes. També es pot accedir amb un codi de barres QR, un sistema per emmagatzemar informació en una matriu quadrada de punts dissenyada per ser llegida amb la càmera d'un telèfon intel·ligent o una tauleta tàctil entre d'altres.



Il·lustració 19: Adhesiu cara posterior

13. Pressupost

13.1. Estimació econòmica del projecte

A continuació es mostra una estimació econòmica del cost de la construcció i estudi d'un pedal de guitarra Fuzz, es desglossa de la següent manera :

| Concepte | Hores dedicades | € / hora | Cost Total (€) |
|---|-----------------|----------|------------------------|
| Direcció del projecte (per un enginyer sènior) | 10 | 50 | 500 |
| Documentació del projecte | 80 | 34 | 2720 |
| Desenvolupament del projecte | 140 | 34 | 4760 |
| Construcció | 60 | 34 | 2040 |
| Disseny exterior | 12 | 34 | 408 + 13,5 (impressió) |
| Cost dels components | - | - | 38,69 |
| Cost de la caixa | - | - | 120 |
| | | | 10.608,19 |

Taula 7: Cost total desglossat

S'obté així un cost total del projecte de **10.608,19€** . La direcció del projecte ha estat a càrrec d'un **enginyer sènior** (50€/h) . Les altres part del procés han estat realitzades per un enginyer junior (34€/h). Les referències dels preus han estat extretes d'altres TFG de l'escola que assegurin tenir aquests sous d'empreses privades.

A continuació es justificaran els costos exposats a la **Taula 7: Cost total desglossat**.

13.1.1. Documentació del projecte

Es refereix a tot el treball previ de recollida d'informació, orientació del treball, lectures de treballs relacionats, definició de l'abast del projecte, història, etc. Tot allò necessari per desenvolupar el nucli del treball.

13.1.2. Desenvolupament del projecte

El desenvolupament és el nucli dur del treball, engloba la majoria de mètodes i resultats emprats. Aquesta part està formada per la explicació del funcionament del circuit electrònic, estudi i resultats de les simulacions amb l'Orcad, estudi dels transistors, les diferents simulacions a la *protoboard*, la crítica musical i l'impacte mediambiental.

13.1.3. Construcció

La construcció es refereix a la construcció de la placa, la qual s'ha realitzat en els laboratoris de la Universitat Politècnica de Catalunya, que ens ha proporcionat un espai i el material necessari com ara estany, soldador, cables, etc... També es refereix a la construcció de la caixa amb l'ajuda dels companys d'Altrinox.

Aquesta part també inclou la recol·lecció de material, que va suposar una busca exhaustiva sobretot en el tema dels transistors.

Finalment, vaig haver de formar-me en el tema de la soldadura, ja que no havia soldat anteriorment i la placa requeria una cert agilitat.

13.1.4. Disseny exterior

El disseny exterior (tant la cara frontal, la posterior i el logotip) s'han realitzat amb el dissenyador **Adrià Draper**, el cost de l'hora també són 34 €/h. Es van realitzar diferents sessions:

| Concepte | Hores (h) |
|-------------------|-------------|
| Reunió inicial | 1 |
| Pluja d'idees | 2 |
| Disseny | 5 |
| Rectificacions | 2 |
| Preparació màster | 2 |
| Total | 12 h |

Taula 8: Cost disseny desglossat

El disseny suposa un total de 12h que a 34€/h són **408€**. En aquest preu cal afegir-li la impressió dels diferents adhesius que ha costat 13,5€. Així que el disseny suposa un **cost total de 421.5 €**

13.1.5. Cost dels components

Els components s'han comprat a diverses botigues electròniques de Barcelona com ara Onda Radio o Diotronic S.A. D'altres components més difícils d'aconseguir com per exemple els transistors s'han aconseguit per internet a través de portals d'electrònica d'arreu del món com ara Retroamplis o Tonepad.

A continuació es detalla una taula dels components utilitzats per construir el pedal.

| Article | Quantitat | Total |
|--------------------------------|-----------|--------------|
| Jack Femella <i>Estéreo</i> | 1 | 2,79 |
| Jack Femella <i>Mono</i> | 1 | 2,11 |
| <i>Knobs</i> negres | 2 | 3,38 |
| <i>Perfboard</i> | 1 | 2,08 |
| <i>Sockets</i> tira | 1 | 1,59 |
| Commutador de peu | 1 | 10,80 |
| Clip pila | 1 | 0,76 |
| Potenciòmetre 500k | 1 | 2,03 |
| Potenciòmetre 1k | 1 | 2,03 |
| Condensador 0,01µF | 5 | 0,55 |
| Condensador electrolític 22µF | 1 | 0,35 |
| Condensador electrolític 2,2µF | 1 | 0,291 |
| Resistència 8K2Ω | 5 | 0,31 |
| Resistència 470Ω | 5 | 0,31 |
| Resistència 100kΩ | 5 | 0,31 |
| Resistència 33kΩ | 5 | 0,31 |
| <i>Led</i> Vermell | 1 | 0,33 |
| Transistors AC128 | 2 | 9 |
| TOTAL | | 38,69 |

Taula 9: Cost components desglossat

13.1.6. Cost de la caixa

La construcció de la caixa (*enclosure*) va ser realitzada tal com s'ha explicat a les instal·lacions d' **Altrinox S.L** amb l'ajuda dels seus operaris. Aquests ens va pressupostar la construcció de la caixa amb un cost total de 120€.

| Concepte | Cost (€) |
|----------------------------------|----------|
| Xapa de l'inoxidable | 15 |
| Mà obre | 75 |
| Cost maquinaria | 18 |
| Altres costs (soldadures, polit) | 12 |
| Total | 120 |

Taula 10: Cost de la caixa desglossat

14. Planificació temporal

La planificació temporal del projecte es presenta en el següent diagrama de Gantt (Taula 11)

| PROCÉS | DISTRIBUCIÓ TEMPORAL | | | |
|------------------------------|----------------------|--------|-------|----------|
| Documentació | | | | |
| Desenvolupament del projecte | | | | |
| Construcció | | | | |
| Disseny | | | | |
| | Juny | Juliol | Agost | Setembre |

Taula 11: Diagrama de Gantt

15. Impacte mediambiental

Els aparells electrònics cada vegada són més nombrosos en les nostres vides: electrodomèstics, equips d'informàtica, aparells electrònics i entre ells els pedals de guitarra. La immensa majoria contenen substàncies com el brom, germani, cadmi, fòsfor o mercuri que poden ser molt perjudicials per la salut i el medi ambient. Tal com s'afirma a [1], recuperar aquestes substàncies requereix de menys energia i es generen menys residus que quan s'extreuen de la naturalesa. Sense oblidar que molts materials (coure, o l'alumini de la caixa) tenen valor per ells mateixos.

La pila 9V que conté el pedal també ha de ser reciclada correctament. Sovint les piles són tirades a la brossa domèstica i aquest problema té un gran magnitud, de fet són les causants del 93% del mercuri que conté la brossa. Cal afegir que gairebé un 30% dels materials de les piles són tòxics.

Tot i que doni la sensació que el pedal és un element petit i el seu impacte pot ser negligible, tenim una situació molt extrema en el planeta i cada granet de sorra és important, així que sempre que es pugui, cal donar-li una segona vida en el nostre pedal. Com?

- **Reutilitzant-lo.** Si encara funciona es pot regalar a un amic, donar-lo solidàriament a projectes, o fins i tot hi ha pàgines a internet que permeten reciclar-lo sense moure't de casa.
- **Reciclant-lo.** Si l'aparell no funciona i se'n compra un de nou, l'establiment està obligat a acceptar-lo gratuïtament i encarregar-se'n d'ell perquè es gestioni de forma convenient. Si la compra es realitza en un individual com J.D Pedals, se li pot retornar el pedal. J.D Pedals intentarà aprofitar els components que encara estiguin en bones condicions i es despendrà dels altres a un punt verd o a la deixalleria .

16. Manual d'instruccions

En aquest mini-manual es volen mostrar les connexions bàsiques que ha de realitzar l'usuari per tal que funcioni el pedal. És tan senzill com connectar l'input del Fuzz a la guitarra i l'output del Fuzz a l'amplificador com es mostra a la *Figura 20*.

S'aconsella seguir l'ordre següent si es disposa d'altres pedals d'efectes:

- 1r. Pedals de volum
- 2n. Filtració (*Wah Wah*)
- 3r. **Fuzz**
- 4t. Modulació
- 5è. *Delays*
- 6è. Reverberació (*reverb*)



Figura 20: Connexions a realitzar per l'usuari

17. La música del FUZZ

Una vegada acabat el pedal és hora de posar-lo a prova. La idea és que un guitarrista professional faci una crítica del pedal. He tingut el plaer de trobar-me amb **Pau Figueras** (<http://www.paufigueres.com/es/>) segons l'opinió de J.V. Frechina, un prestigiós crític musical *"Pau Figueres es uno de los guitarristas más talentosos e interesantes del momento. Su dominio de todos los lenguajes y un buen gusto proverbial convierten su guitarra en un instrumento fascinante que se expresa con la facilidad de un ser vivo"*.

Pau va fer una crítica general positiva sobre el pedal: "M'agrada el so cremós característic del Fuzz, amb uns greus molt consolidats que li donen un toc diferencial" elogiava a favor del projecte, per altra banda "a coses a millorar li afegiria una mica més de sustentació (*sustain*) en els aguts, és un fet molt puntual, però si la nota vibra poc es perd massa ràpid la senyal". Respecte l'últim comentari es creu que la millora recau en repassar alguna soldadura, probablement hi hagi masses pèrdues en algun punt de la placa que fan que si la senyal és molt feble s'apagui ràpid, també pot ésser degut als transistors.



Il·lustració 20: Pau Figueras gravant amb el Fuzz

Es va proposar en Pau si volia gravar una *melodia* només canviant els transistors, és a dir mantenint tots els paràmetres constants, tant de l'amplificador, com dels potenciòmetres. Es van gravar les següents combinacions:

| Nom del track | Transistor 1 (guany) | Transistor 2 (guany) | Comentari |
|---------------|----------------------|----------------------|--|
| 1.Clean | - | - | És el so de la guitarra sense el Fuzz engegat, principalment es va gravar per avaluar el <i>bypass</i> , segons Pau “un <i>bypass</i> molt net, sense soroll, és un problema habitual en alguns pedals que s’ha aconseguit superar exitosament” |
| 2.Tradicional | AC128-1 (73) | AC128-2 (104) | Els 2 transistors tradicionals en acció, possiblement un dels millors sons entre tots els transistors que s’han gravat. S’aconsegueix una bona sustentació, es pot observar en el segon 12 de la gravació on no minven les notes llargues i agudes, això fa pensar que potser el problema de la sustentació també pot ésser causat pels transistors. |
| 3.AC188s | AC188-3 (84) | AC188-1 (130) | La sustentació (<i>sustain</i>) és lleugerament pitjor, no obstant el so segueix sent correcte, els greus tenen més presència que en el <i>tradicional</i> . És una alternativa totalment acceptable. |
| 4.AC128-188 | AC128-1 (73) | AC188-1 (130) | La idea era jugar amb dos transistors diferents respectant els intervals de guanys. El Fuzz per norma general té el primer transistor amb un guany entre 70-80 i el segon entre 110-130. S’aconsegueix un resultat molt bo, amb uns greus molt ben consolidats. |
| 5.AC188-128 | AC188-1 (130) | AC128-1 (73) | Es volia provar, si realment era tan important aquests guanys. Així que es van decidir canviar el guany del primer transistor pel segon. El resultat és clar, el Fuzz sona malament, ho podem escoltar en el segon 8 i a partir del 35 fins el final de la gravació, on es noten pèrdues de senyal i el so no és el desitjat. És una distorsió massa trencada i bruta. |

| | | | |
|---------------------|------------------|------------------|--|
| 6.AC188hg | AC188-4 (153) | AC188-1 (130) | AC188hg (<i>high gain</i>) va ser una proposta, es volien provar coses noves. Es volia descobrir si configurant el primer transistor a un guany alt, canviava el so. En general el so és molt semblant a AC188s, tot i que la sustentació és pitjor. |
| 7.OC74-AC180 | OC74 (83) | AC180 (121) | Aquesta parella aconsegueix un so totalment bo, a la tònica de <i>tradicional</i> o AC128-188. |
| 8.OC74-AC128 | OC74 (83) | AC128-2 (104) | Segueix la tònica de l'anterior, si som detallistes li faltaria quelcom de presència a les notes llargues, per exemple les quintes del segon 5 de la gravació estan més ben aconseguides a OC74-AC180. |
| 9.OC74-AC188 | OC74 (83) | AC188-1 (130) | Segueix la tònica dels anteriors. És una bona opció, fa uns greus molt bonics, tot i que els aguts tenen poca sustentació. |

Taula 12: Resum de les gravacions

Concloent, en aquest apartat em pogut escoltar amb claredat el so característic del Fuzz. Pel que fa el canvi dels transistors, t'has de fixar molt amb els detalls, fins i tot poden semblar insignificants, però amb el mateix Pau comentàvem "són aquests detalls, els que costen de reconèixer, els que són valorats pel músics. A més, el mercat d'avui en dia cada vegada costa més trobar-hi qualitat. Segurament en un concert en directe aquests detalls són insignificants, però quan estàs en un estudi de gravació, aquests detalls són els que marquen la diferència".

S'ha vist que no hi ha un transistor únic, que tant amb els AC128, com amb els AC180, com amb els AC188, com amb els OC74 es poden aconseguir bons resultats. Això si, és important respectar l'ordre dels guanys, a la gravació 5 s'ha demostrat que intercanviar-los no és una bona idea. No es considera una bona opció posar els transistors amb un guany alt, realment s'aprecia poc el canvi de guany i la sustentació baixa considerablement, com s'ha observat a la gravació 6.

Conclusions

La idea del Fuzz era ben senzilla: imitar els amplificadors trencats dels anys 50, no obstant s'ha vist que aquesta tasca ha suposat tot un repte per la electrònica i un mal de cap pels creadors de pedals. Al llarg de la història s'han realitzat moltes variants i tal com s'ha vist al llarg del treball el circuit és sensible a qualsevol petita modificació.

El primer dubte va sorgir en el material dels transistors (silici o germani). Realment no hi ha una resposta correcta única en aquesta pregunta, és depèn de la teva idea, si el que busques és un Fuzz càlid, amb un estil *vintage* i que reaccioni bé els teus moviments amb el potenciòmetre de volum, construeix-lo amb transistors de germani. En canvi, els transistors de silici són més consistents, estables i amb una distorsió més afilada.

Es van estudiar diferents paràmetres que podien afectar el so del Fuzz. Alguns no només depenen del pedal, sinó també de les característiques de la guitarra com ara la senyal d'entrada.

Després d'haver realitzat simulacions s'ha conclòs que el guany dels transistors influeix en el so. Es van trobar relacions amb el guany dels transistors, el guany total i el tipus de *clipping*. Generalment, ens vam adonar que com més *hard clipping* menys presència hi ha del 4 harmònic, això suposa un so més tancat, amb menys color. Seguidament es van demostrar les hipòtesis amb les diferents gravacions amb Pau Figueras, on només canviant aquests transistors es van aconseguir resultats diferents.

Pel que fa la viabilitat econòmica, com autònoms ens seria difícil competir contra una marca que manufactura aquests tipus de pedals, ja que en fan moltes rèpliques i a un preu baix. No obstant, es creu que es podria tenir cabuda en un mercat alternatiu, més elitista, on els clients fossin professionals de la música, que busquessin productes més exigents, amb unes necessitats molts concretes (que el mercat probablement no els hi pugui oferir). Gràcies a la nostra versatilitat de poder modificar la placa, de poder muntar qualsevol component per obtenir un so únic, de poder personalitzar els dissenys, etc. Fa que aquest treball pugui ser el començament de quelcom especial que tingui continuació en el futur, per això s'ha cregut oportú crear una pàgina de facebook i dissenyar un logotip.

Reciclar i reutilitzar és una missió que també és present en el treball i s'ha vist que per petit que sigui també existeix un impacte ambiental. Per altra banda, ha estat ser realment una experiència única rebre crítiques molt positives d'un gran guitarrista com és Pau Figueras.

Finalment, en el futur es podria intentar imprimir la placa a una PCB per millorar els problemes de sustentació que es van observar a les gravacions. Per altra banda, també es podria pensar un disseny intern millor per estandarditzar i facilitar el canvi de la pila.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Fernández Muerza, Alex. *Reciclar aparatos eléctricos y electrónicos, por qué y cómo hacerlo*. [en línia]. Disponible a:
http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2012/09/10/212515.php#sthash.KAQL29BF.dpuf [Consulta: 25 de juliol 2016]
- [2] Wikipedia. *Serie armónica* [en línia]. Disponible a:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Serie_arm%C3%B3nica_\(m%C3%BAsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Serie_arm%C3%B3nica_(m%C3%BAsica)) [Consulta: 2 de juliol 2016]
- [3] Electrosmash. *Fuzz Face Analysis* [en línia]. Disponible a:
<http://www.electrosmash.com/fuzz-face#link1> [Consulta: 28 de juny 2016]
- [4] Joel, Gregoris. *Fuzz face* [en línia]. Disponible a:
<http://gregorisjoel.awardspace.com/FuzzFace.html> [Consulta: 5 d'agost 2016]
- [5] R.G. Keen. *The Technology of the Fuzz Face* [en línia]. Disponible a:
http://www.geofex.com/Article_Folders/fuzzface/fffram.htm [Consulta: 10 de juliol 2016]
- [6] Cadence Design Systems. *PSpice library list*. [en línia]. Disponible a:
http://www.seas.upenn.edu/~jan/spice/PSpice_LibraryguideOrCAD.pdf [Consulta: 18 de juliol 2016]
- [7] Orcad company. *PSpice*. [en línia]. Disponible a:
http://www.seas.upenn.edu/~jan/spice/PSpice_ReferenceguideOrCAD.pdf
[Consulta: 21 de juliol 2016]
- [8] Applied Electronics . *Creating new model in Orcad Capture* [en línia]. Disponible a:

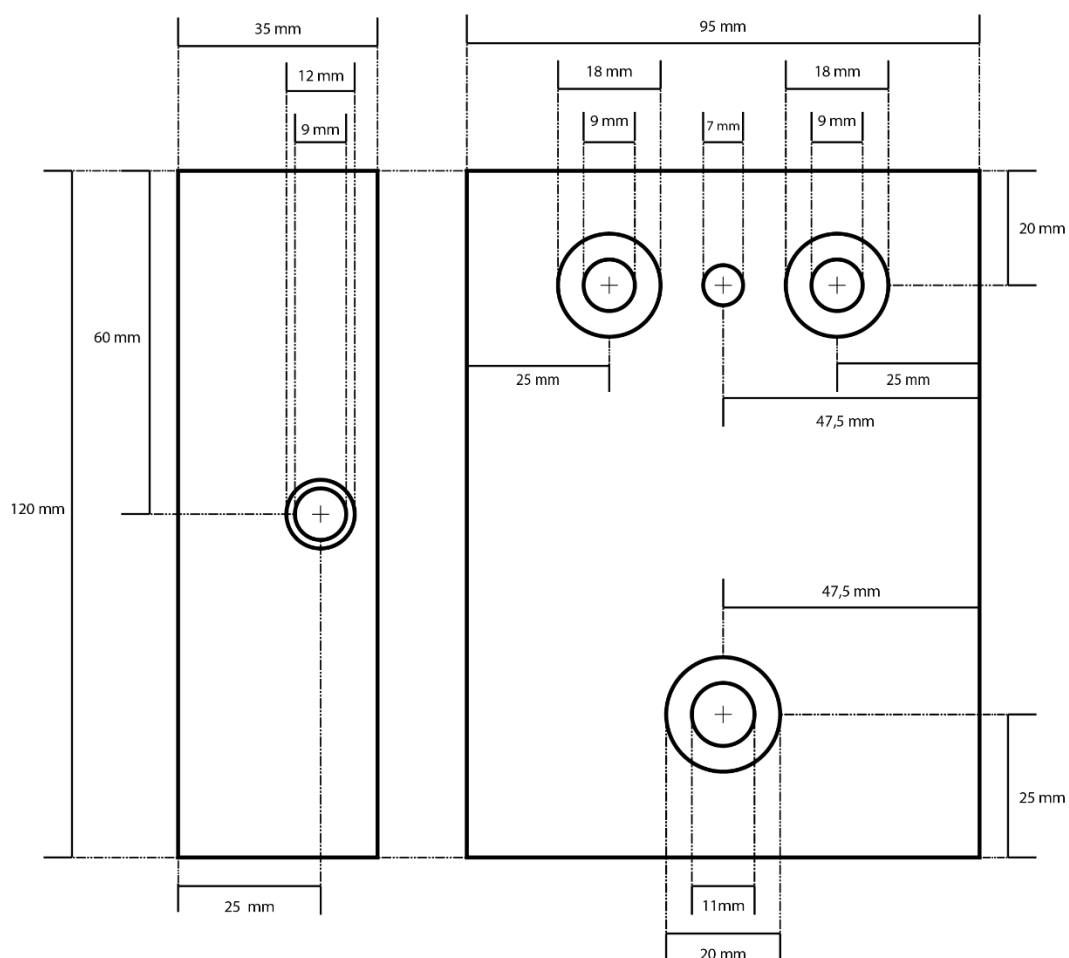
<http://appliedelectronicsengineering.blogspot.com.es/2013/08/creating-new-model-in-orcad-capture.html> [Consulta: 15 de juliol 2016]

- [9] *LTSpice SwitcherCAD III Small Signal Bipolar Junction Transistor Database* [en línia]. Disponible a: <http://www.zen22142.zen.co.uk/ltspice/standard.bjt> [Consulta: 15 de juliol 2016]

Bibliografia complementària

- [1] Wikipedia. *Efectos de guitarra* [en línia]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Efectos_de_guitarra#D.C3.A9cadas_.2740_y_.2750 [Consulta: 18 de juny 2016]
- [2] Emili Lupon. *LOS TRANSISTORES DE UNIÓN BIPOLAR (BJTs)*. Barcelona: ETSEIB – Departament d'Enginyeria Electronica.
- [3] E. Overton, William. *Digital circuit-level emulation of transistor-based guitar distortion effects* [en línia]. Disponible a: http://www.electrosmash.com/images/tech/fuzz-face/fuzz%20face%20overton_william_e_200605_mast.pdf.pdf [Consulta: 8 de juliol 2016]
- [4] Daniels, Steve. *"5F" - The FAQ For Fuzz Face Fanatics* [en línia]. Disponible a: <http://diy.smallbearelec.com/HowTos/FuzzFaceFAQ/FFFAQ.htm> [Consulta: 15 de juliol 2016]
- [5] Coda Effects. *3PDT and true bypass wiring* [en línia]. Disponible a: <http://www.coda-effects.com/2015/03/3pdt-and-true-bypass-wiring.html> [Consulta: 23 de juliol 2016]

ANNEX 1. Plànols



Annex 1: Mides de la caixa o enclousure

ANNEX 2. Fotos Fuzz



Il·lustració 21: Cara frontal



Il·lustració 22: Perspectiva des d'on es veu el logotip



Il·lustració 23: Part de sota del pedal

Annex 3. Datasheet.

GERMANIUM SMALL SIGNAL TRANSISTORS PRO ELECTRON TYPES

| Type | Polar- ity | V_{CB0} V Max | V_{EB0} V Max | V_{CE} V Max | | @ V_{CE} V | I_{CB0} μA Max | h_{FE} Min Max | @ I_C mA | C_{ob} pf Max | f_{ab} MHZ Min | Pack Outline | Power Dissipation @ 25°C MW |
|--|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|---|--|---|---|--|---------------------------------------|
| AC107 AC116 AC117 | P P P | 15 30 32 | 12 10 | 18 18 | | 6 6 | 8 18 | 35- 50-140 40- | 300 ¹ 20 150 | 21 ² | | TO-1 NS257 NS257 | 80 145 260 |
| AC121—IV AC121—V AC121—VI AC121—VII | P P P P | 20 20 20 20 | 10 10 10 10 | 20 20 20 20 | | | | 30-60 50-100 75-150 125-250 | 100 100 100 100 | 40 40 40 40 | 1.5 ³ 1.5 ³ 1.5 ³ 1.5 ³ | TO-1 TO-1 TO-1 TO-1 | 900 900 900 900 |
| AC122 AC122/30 AC123 AC124 AC125 | P P P P P | 30 45 45 45 32 | 18 12 12 10 10 | 18 32 32 32 12 | | 6 6 6 6 10 | 8 8 8 18 10 | 40-200 40-200 50-140 40-170 50- | 2 ¹ 2 ¹ 20 150 2 | 21 ² 21 ² 21 ² | | TO-1 TO-1 NS257 NS257 TO-1 | 130 130 145 260 500 |
| AC126 AC127 AC128 AC128K | P N P P | 32 32 32 32 | 10 10 10 10 | 12 12 16 16 | | 10 10 10 10 | 10 10 10 10 | 65- 50- 55-175 55-175 | 2 500 50 50 | 50 70 ³ 100 100 | 1.7 2.5 1.0 1.0 | TO-1 TO-1 TO-1 NS257 | 500 340 1,000 1,000 |
| AC173 AC176 AC178 AC179 AC180 | P N P N P | 32 32 20 20 32 | 10 10 10 10 20 | 2Y 18 15 15 16 | | 10 6 6 6 | 35 35 10 ² | 50- 50-250 60- 60- 50-250 | 2 ¹ 300 150 150 600 | 100 ² | 1.0 1.0 2.5 ³ | TO-1 TO-1 NS257 NS257 TO-1 | 200 700 180 180 600 |
| AC184 AC185 AC187 AC187K AC188 | P N N N P | 32 32 25 25 25 | 20 20 10 10 10 | 16 16 15 15 15 | | 10 10 10 10 | 35 35 35 15 | 50-250 50-250 100-500 100-500 100-500 | 300 300 300 300 300 | 180 180 180 110 | 2.5 ³ 2.5 ³ 1.0 1.0 1.0 | TO-1 TO-1 TO-1 NS257 TO-1 | 600 600 1,000 1,000 1,000 |
| AC188K AC193 AC193K AC194 AC194K | P P P N N | 25 32 32 32 32 | 10 10 10 10 10 | 15 15 15 15 15 | | 10 10 10 10 10 | 15 15 15 35 35 | 100-500 90-400 90-400 90-400 90-400 | 300 400 400 400 400 | 100 40 ³ 40 ³ 80 ³ 80 ³ | 1.0 3.0 ² 3.0 ² 5.0 ² 5.0 ² | NS257 TO-1 TO-1 TO-1 TO-1 | 1,000 220 260 220 260 |

GERMANIUM SMALL SIGNAL TRANSISTORS

PRO ELECTRON TYPES

| Type | Polar-ity | V_{CB0} V Max | V_{EBO} V Max | V_{CE} V Max | | I_{CBO} μA Max @ V_{CB} V | h_{FE} Min Max | αI m-1 | C_{ob} pf Max | f_{ab} MHz Min | Pack Outline | Power Dissipation @ 25°C mW |
|-------|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--|--|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| ACY33 | P | 32 | 10 | 32 | | 10 | 75-250 | 300 | 100 | 1.0 | TO-1 | 1,000 |
| ACY34 | P | 30 | 10 | 10 | | 30 | 20-40 | 1 ¹ | 40 | 1.0 ² | TO-1 | 200 |
| ACY35 | P | 30 | 10 | 10 | | 30 | 30-75 | 1 ¹ | 40 | 1.0 ² | TO-1 | 200 |
| ACY36 | P | 32 | 10 | 16 | | 30 | 30-90 | 80 | 40 | 1.0 ² | TO-1 | 200 |
| ACY38 | P | 15 | 9 | 16 | | | 75- | 1 ¹ | | 5.0 | TO-5 | 150 |
| ACY39 | P | 110 | 12 | 40 | | 6 | 50-150 | 300 | 40 | 1.0 ¹ | TO-5 | 260 |
| ACY40 | P | 32 | 12 | 18 | | 6 | 30-70 | 300 | 40 | 1.0 ¹ | TO-5 | 260 |
| ACY41 | P | 32 | 12 | 18 | | 6 | 50-250 | 300 | 40 | 1.0 ¹ | TO-5 | 260 |
| ACY44 | P | 50 | 12 | 30 | | 6 | 40-120 | 300 | 40 | 1.0 ¹ | TO-5 | 260 |
| ASY26 | P | 30 | 20 | 15 | | 30 | 30-80 | 20 | 16 | 4.0 | TO-5 | 150 |
| ASY27 | P | 25 | 20 | 15 | | 25 | 50-150 | 20 | 16 | 6.0 | TO-5 | 150 |
| ASY28 | N | 30 | 20 | 15 | | 5 | 30-80 | 20 | 16 | 4.0 | TO-5 | 150 |
| ASY29 | N | 25 | 20 | 15 | | 5 | 50-150 | 20 | 16 | 10.0 | TO-5 | 150 |
| ASY48 | P | 64 | 16 | 45 | | | 30-150 | 100 | 40 | 1.2 ² | TO-1 | 900 |
| ASY70 | P | 32 | 16 | 30 | | | 30-150 | 100 | 40 | 1.5 ² | TO-1 | 900 |
| ASY76 | P | 40 | 10 | 32 | | 10 | 25-130 | 300 | 60 | 0.5 | TO-5 | 300 |
| ASY77 | P | 60 | 10 | 60 | | 10 | 25-130 | 300 | 60 | 0.5 | TO-5 | 300 |
| ASY80 | P | 40 | 20 | 40 | | 10 | 60-165 | 50 | 60 | 0.7 | TO-5 | 300 |
| ASY81 | P | 60 | 25 | 35 | | 60 | 30-100 | 100 | 25 | 2.0 | TO-5 | 200 |
| OC65 | P | 10 | 10 | 10 | | 4.5 | 30- | 4 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 25 |
| OC66 | P | 10 | 10 | 10 | | 4.5 | 50- | 4 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 25 |
| OC70 | P | 30 | 10 | 10 | | 4.5 | 20-40 | 0.5 ¹ | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 125 |
| OC71 | P | 30 | 10 | 10 | | 4.5 | 41- | 1.0 ¹ | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 125 |
| OC72 | P | 32 | 10 | 16 | | 10 | 45-120 | 10 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 125 |
| OC73 | P | 32 | 20 | 16 | | 4.5 | 30-65 | 0.5 ¹ | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 125 |
| OC74 | P | 20 | 5 | | | 9 | 60-150 | 50 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 220 |
| OC75 | P | 30 | 10 | 10 | | 4.5 | 60-130 | 3 ¹ | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 125 |
| OC76 | P | 32 | 10 | 16 | | 10 | 45- | 10 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 125 |
| OC77 | P | 60 | 10 | 15 | | 10 | 45- | 10 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 125 |
| OC78 | P | 20 | 10 | | | 10 | 20- | 125 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 200 |
| OC81N | P | 32 | 10 | | | 10 | 50-250 | 50 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 200 |
| OC83N | P | 32 | 10 | 20 | | 10 | 40-200 | 300 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 220 |
| OC84N | P | 32 | 10 | 20 | | 10 | 50-160 | 300 | 40 | 1.0 ¹ | TO-1 | 220 |

CASE OUTLINE DRAWINGS & DIMENSIONS

